

Měření a vyhodnocování elektrických parametrů řiditelných osvětlovacích soustav venkovního osvětlení

Measurement and Evaluation of Electrical Parameters of Controlled Outdoor
Lighting Systems

Bc. Petr Svozil

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.

Ostrava, 2021

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřená na měření a vyhodnocování elektrických parametrů říditelných osvětlovacích soustav veřejného osvětlení. V první části je rozebrána kvalita napětí podle normy ČSN EN 50160. V druhé části je rozebrána teorie zabývající se flikrem na elektrických zařízeních. Třetí část je zaměřená na požadavky kladené při návrhu a provozu osvětlovacích soustav. Čtvrtá část je věnována řízení a provozu předřadných zařízení použitých u světelných diod. V páté části je rozebrán technický stav měřeného polygonu veřejného osvětlení na Vysoké škole Báňské v Ostravě. Závěrečná část je věnována vyhodnocování naměřených dat z polygonu VO VŠB-TUO.

Klíčová slova

Kvalita napětí, flikr, Míra vjemu flikru, osvětlovací soustava, veřejné osvětlení, světelně-technické parametry, světelné diody,

Abstract

This diploma thesis is focused on measuring and evaluating the electrical parameters of controllable public lighting systems. The first part discusses the quality of voltage according to the standard ČSN EN 50160. The second part discusses the theory dealing with flicker on electrical equipment. The third part is focused on the requirements for the design and operation of lighting systems. The fourth part is devoted to the control and operation of ballasts used in light emitting diodes. The fifth part discusses the technical condition of the measured polygon of public lighting at the University VŠB Technical collage of Ostrava. The final part is devoted to the evaluation of measured data from the public lighting VŠB-TUO polygon.

Keywords

Voltage quality, flicker, The degree of flicker perception, Lighting system, Public lighting, Lighting parameters, LED

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D. za cenné rady a připomínky při zpracování mé diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Tomášovi Novákovi, Ph.D. a panu Ing. Janu Barošovi za cenné rady a spolupráci při měření na polygonu veřejného osvětlení VŠB-TUO.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	7
Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
Úvod	10
1. Kvalita elektrické energie	11
1.1. Norma ČSN EN 50160	11
1.1.1. Průběžné jevy	11
1.1.2. Napěťové jevy	11
2. Rozbor problematiky Flickru	13
2.1. Flickr	13
2.2. Příčiny vzniku flickru	14
2.3. Šíření flickru v síti	15
2.4. Vyhodnocování flickru z pohledu elektrických parametrů	16
2.4.1. Krátkodobá míra vjemu P_{st}	16
2.4.2. Dlouhodobá míra vjemu Plt	17
2.5. Měření elektrických parametrů flickru	18
2.5.1. Metoda modelu žárovka – oko	18
2.5.2. Flickrmetr	18
2.6. Vyhodnocování flickru z pohledu světelných parametrů	19
2.6.1. Míhání	19
2.7. Měření světelně-technických veličin	20
2.7.1. Fotometrie	20
2.7.2. Vizualní fotometrie	21
2.7.2.1 Míhavý fotometr	22
2.7.3. Fyzikální fotometrie	22
2.7.3.1 Únava fotoelektrického článku	23
2.7.3.2 Chyby fotoelektrických článků na úhel dopadu světla	23
2.7.4. Nejistota měření	24
2.7.4.1 Standardní nejistota typu A	24
2.7.4.2 Standardní nejistota typu B	25
2.7.4.3 Kombinovaná standardní nejistota u_c	25
3. Požadavky na osvětlovací soustavy veřejného osvětlení	26
3.1. NORMA ČSN EN 13201 – Osvětlování pozemních komunikací	26
3.2. Základní požadavky na osvětlovací soustavy VO	26
3.2.1. Osvětlenost	26
3.2.2. Rozložení jasu	27
3.2.3. Oslnění	27
3.2.4. Směrové osvětlení	27
3.2.5. Barevné vlastnosti	28

3.2.6. Omezení rušivého světla	28
3.3. Světelné zdroje pro osvětlovací soustavy VO	29
3.3.1. Halogenové žárovky.....	30
3.3.2. Kompaktní zářivky.....	30
3.3.3. Lineární zářivky.....	30
3.3.4. Vysokotlaké halogenidové výbojky.....	30
3.3.5. Vysokotlaké sodíkové výbojky	31
3.3.6. Nízkotlaké sodíkové výbojky	31
3.3.7. Světelné diody.....	31
3.3.8. Volba světelného zdroje pro VO	31
3.4. Svítidla osvětlovacích soustav VO.....	32
3.4.1. Světelně činné části	32
3.4.2. Elektrotechnické části.....	32
3.4.3. Konstrukční části.....	32
3.5. Základní předpisy pro osvětlovací soustavy VO.....	33
3.6. Ovládání a řízení osvětlovací soustavy VO	33
3.6.1. Ovládání VO.....	33
3.6.2. Řízení VO	34
3.6.3. Monitoring VO	35
3.7. Změny osvětlovací soustavy	35
3.7.1. Činitel stárnutí a znečištění svítidla.....	36
3.7.2. Činitel stárnutí a znečištění světelných zdrojů	36
3.8. Údržba osvětlovací soustavy VO.....	36
3.8.1. Běžná údržba.....	36
3.8.2. Preventivní údržba.....	37
3.8.3. Odstraňování následků škod a vandalizmu	37
4. Chování předřadných přístrojů LED osvětlovacích soustav v různých režimech provozu	38
4.1. Elektronické předřadníky pro světelné diody.....	38
4.2. Napěťový zdroj pro světelné diody	39
4.3. Proudový zdroj pro světelné diody.....	39
4.3.1. Popis funkce proudového zdroje	39
4.4. Stmívání světelných diod.....	40
4.4.1. Stmívání pomocí proudového zdroje	40
4.4.2. Stmívání pomocí PWM.....	41
5. Zkušební polygonu veřejného osvětlení VŠB-TUO	42
5.1. Topologie komunikační sítě polygonu VO.....	42
5.2. Technické provedení osvětlení polygonu.....	43
5.3. Měřicí systém polygonu VO	44
5.3.1. Měřicí box NI cDAQ 9185	46
5.3.2. Vstupní měřicí karta NI 9205.....	46
5.3.3. Napěťové převodníky VVC-600-300	47
5.3.4. Proudové převodníky CVC-25/12,5	48
6. Sběr a analýza naměřených dat z polygonu VO VŠB-TUO	49

6.1. Zhodnocení podle normy ČSN EN 50160	49
6.1.1. Rozbor napájecího napětí.....	49
6.1.2. Rozbor harmonických napětí	50
6.1.3. Rozbor úrovně kolísání napětí.....	52
6.2. Porovnání provozních režimů	52
6.2.1. Spotřeba a další parametry polygonu	53
6.3. Hodnocení dosažených výsledků.....	55
Závěr	56
Literatura	57

Seznam použitých zkratk a symbolů

ČSN	- Česká státní norma
ECM	- Electromagnetic compatibility – Elektromagnetická kompatibilita
EN	- Evropská norma
f (-)	- Index míhání
FEI	- Fakulta elektrotechniky a informatiky
FFT	- Fast Fourier transform – Rychlá Fourierova transformace
HDO	- Hromadné dálkové ovládání
I _č (A)	- Činný proud
I _j (A)	- Jalový proud
IEC	- International electrotechnical commission - Mezinárodní elektrotechnická komise
IP	- Ingress protection - Stupeň krytí
k _f (-)	- Činitel vlnitosti
LED	- Light emitting diode
MHD	- Městská hromadná doprava
MQTT	- Message queue telemetry transport
nn	- Nízké napětí
P (W)	- Činný výkon
P _{ST} (-)	- P short term – Krátkodobá míra vjemu flikru
P _{LT} (-)	- P long term – Dlouhodobá míra vjemu flikru
PWM	- Pulse width modulation – Pulsně šířková modulace
Q (var)	- Jalový výkon
RMS	- Root mean square – Efektivní hodnota
R _s (Ω)	- Činný odpor soustavy
S _k (VA)	- Zkratový výkon
T (s)	- Perioda
THDi (%)	- Total harmonic distortion current – Celkové harmonické zkreslení proudu
THDu (%)	- Total harmonic distortion voltage – Celkové harmonické zkreslení napětí
T _p (-)	- Transportní koeficient
tPF (-)	- True Power Factor
U (V)	- Napětí
u _{ax} (%)	- Standardní nejistota typu A
u _b (%)	- Standardní nejistota typu B
u _c (%)	- Kombinovaná standardní nejistota
U _{ef} (V)	- Efektivní hodnota napětí
U _{stř} (V)	- Střední hodnota napětí
vn	- Vysoké napětí
VO	- Veřejné osvětlení
vvn	- Velmi vysoké napětí
X _s (-)	- Reaktance soustavy
Z _{max} (%)	- Maximální velikost chyby

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: KŘIVKA ZŘETELNOSTI A ZÁVAŽNOSTI FLIKRU [2]	13
OBRÁZEK 2: MODEL NAPÁJECÍ SÍTĚ NN A VN [2].....	14
OBRÁZEK 3: HARMONICKÝ PRŮBĚH NAPĚTÍ [2]	14
OBRÁZEK 4: MODEL SÍTĚ [2].....	15
OBRÁZEK 5: SCHEMATICKÝ MODEL SÍTĚ [2].....	15
OBRÁZEK 6: BLOKOVÉ SCHÉMA MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE – FLIKRMETR [2].....	18
OBRÁZEK 7: ANALYZÁTOR SÍTÍ BK ELCOMENA 330 A C.A 8336.....	19
OBRÁZEK 8: PRŮBĚH VLNY SVĚTELNÉHO TOKU [5].....	20
OBRÁZEK 9: VIZUÁLNÍ MĚŘENÍ NA FOTOMETRICKÉ LAVICI [7]	21
OBRÁZEK 10: MÍHAVÝ FOTOMETR [7].....	22
OBRÁZEK 11: SCHÉMA FOTOELEKTRICKÉHO ČLÁNKU [7].....	22
OBRÁZEK 12: GRAF PRŮBĚHŮ SPEKTRÁLNÍCH CITLIVOSTÍ [7]	23
OBRÁZEK 13: CHYBY RŮZNÝCH FOTOELEKTRICKÝCH ČLÁNKŮ V ZÁVISLOSTI NA ÚHLU DOPADU SVĚTLA... 24	
OBRÁZEK 14: POROVNÁNÍ RŮZNÝCH HODNOT INDEXU PODÁNÍ BAREV.....	28
OBRÁZEK 15: NÁČRT SLOŽEK RUŠIVÉHO SVĚTLA [6].....	28
OBRÁZEK 16: ROZDĚLENÍ OBLASTÍ A JEJICH HODNOTY MAXIMÁLNÍ HODNOTY RUŠIVÉHO SVĚTLA [6].....	29
OBRÁZEK 17: SVĚTELNĚ ČINNÉ ČÁSTI [7]	32
OBRÁZEK 18: FUNKCE JEDNOSTRANNÉ PROPUSTNÉ MEMBRÁNY [6]	33
OBRÁZEK 19: REGULACE PŘÍKONU OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY [6].....	34
OBRÁZEK 20: REGULACE OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY V ZÁVISLOSTI NA INTENZITĚ PROVOZU [6]	35
OBRÁZEK 21: PLÁN ÚDRŽBY S INTERVALY ČIŠTĚNÍ.....	36
OBRÁZEK 22: VA CHARAKTERISTIKA LED [10]	38
OBRÁZEK 23: SCHEMATICKÉ ZAPOJENÍ NAPĚŤOVÉHO ZDROJE LED [7].....	39
OBRÁZEK 24: SCHEMATICKÉ ZAPOJENÍ PROUDOVÉHO ZDROJE LED	40
OBRÁZEK 25: VA CHARAKTERISTIKY RŮZNÝCH BAREVNÝCH LED V PROPUSTNÉM SMĚRU	40
OBRÁZEK 26: PRŮBĚH REGULACE PROUDOVÝM ZDROJEM.....	41
OBRÁZEK 27: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU PWM [7].....	41
OBRÁZEK 28: FOTKA POLYGONU VO VŠB-TUO.....	42
OBRÁZEK 29: TOPOLOGIE KOMUNIKAČNÍ SÍTĚ POLYGONU VO [11].....	43
OBRÁZEK 30: SVÍTIDLA SPOLEČNOSTI BOOS, THORN A SCHREDER	44
OBRÁZEK 31: SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ZAPOJENÍ SVÍTIDEL POLYGONU VO	44
OBRÁZEK 32: POHLED DO ŘÍDICÍHO CENTRA [11].....	45
OBRÁZEK 33: SCHEMATICKÉ ZAPOJENÍ POLYGONU VO A MĚŘICÍHO SYSTÉMU [11].....	45
OBRÁZEK 34: MĚŘICÍ BOX NI CDAQ 9185	46
OBRÁZEK 35: MĚŘICÍ KARTA NI 9205 [13].....	46
OBRÁZEK 36: NAPĚŤOVÝ PŘEVODNÍK VVC-600-300 [14]	47
OBRÁZEK 37: PROUDOVÝ PŘEVODNÍK CVC-25/12,5 [15]	48
OBRÁZEK 38: GRAFICKÝ PRŮBĚH NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ POLYGONU VO.....	50
OBRÁZEK 39: VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH ŘÁDŮ HARMONICKÝCH NAPĚTÍ THDU POLYGONU VO	51
OBRÁZEK 40: GRAFICKÝ PRŮBĚH NAMĚŘENÝCH HODNOT FLIKRU POLYGONU VO.....	52
OBRÁZEK 41: GRAFICKÝ PRŮBĚH PROVOZNÍCH REŽIMŮ POLYGONU VO - ZDÁNlivý VÝKON	53
OBRÁZEK 42: GRAFICKÝ PRŮBĚH NAPĚTÍ A PROUDŮ PŘI VÝKONU SVÍTIDEL 100%	54
OBRÁZEK 43: GRAFICKÝ PRŮBĚH NAPĚTÍ A PROUDŮ PŘI VÝKONU SVÍTIDEL 50%.....	55
OBRÁZEK 44: VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH ŘÁDŮ HARMONICKÝCH PROUDŮ THDI POLYGONU VO	55

Seznam tabulek

TABULKA 1: TECHNICKÉ PARAMETRY SVÍTIDEL POLYGONU VO.....	43
TABULKA 2: TECHNICKÉ PARAMETRY NAPĚŤOVÉHO PŘEVODNÍKU VVC-600-300	47
TABULKA 3: TECHNICKÉ PARAMETRY PROUDOVÉHO PŘEVODNÍKU CVC-25/12,5	48
TABULKA 4: NAMĚŘENÉ HODNOTY NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ POLYGONU VO	49
TABULKA 5: NAMĚŘENÉ HODNOTY HARMONICKÉHO ZKRESLENÍ NAPĚTÍ THDU	50
TABULKA 6: NAMĚŘENÉ HODNOTY JEDNOTLIVÝCH HARMONICKÝCH NAPĚTÍ.....	51
TABULKA 7: NAMĚŘENÉ HODNOTY FLIKRU	52
TABULKA 8: PROVOZNÍ REŽIMY POLYGONU VO.....	53
TABULKA 9: SPOTŘEBA PROVOZNÍCH REŽIMŮ POLYGONU VO	54
TABULKA 10: NAMĚŘENÉ HODNOTY ODBĚRU POLYGONU VO	54

Úvod

V posledních letech dochází k masivnímu osazování LED svítidel do osvětlovacích soustav veřejného osvětlení. U většiny svítidel je regulace tvořena pulsně šířkovou modulací, což vede k deformacím odebíraných proudů a snížení účinníku sítě. Takto deformované proudy pak mohou mít za následek nesprávného fungování zařízení, které tento proud odebírají. Proto je potřeba při návrhu osvětlovací soustavy dbát na kvalitu použitých svítidel a jejich předřadných zařízení.

Diplomová práce se zabývá měřením a analýzou dat z testovacího polygonu veřejného osvětlení na Vysoké škole Báňské v Ostravě.

První částí je zaměřená na legislativní nařízení z pohledu normy ČSN EN 50160 na Kvalitu napětí ve veřejných distribučních sítích nn, vn a vvn.

Druhá část je zaměřena na problematiku flickru a způsoby výpočtů a vyhodnocování míry vjemu flickru. Dále jsou rozebrány způsoby vyhodnocování flickru nejen z pohledu elektrických parametrů, ale také z pohledu světelně technických parametrů.

Třetí část se věnuje základními požadavky při návrhu a provozu osvětlovací soustavy veřejného osvětlení. Tato část je zaměřena z pohledu normy ČSN EN TR 13201, základních požadavků na VO, konstrukčního hlediska soustavy, řízení a údržby VO.

Čtvrtá část je zaměřena na chování předřadných zařízení při různých provozních stavech. Jsou zde rozebrány jednotlivé typy předřadných zařízení a způsoby jejich použití pro řízení LED svítidel.

Pátá část se zabývá popisem testovacího polygonu VO na VŠB-TUO z pohledu topologie komunikační sítě, technického provedení a měřicího systému polygonu VO.

Poslední část je věnována ukázkám naměřených a analyzovaných dat z testovacího polygonu VO VŠB-TUO v Ostravě. Provoz polygonu byl rozdělen do čtyř režimů, kdy byla zjišťována kvalita napětí z pohledu normy ČSN EN 50160 a porovnání jednotlivých režimů z pohledu odběru a spotřeby.

1. Kvalita elektrické energie

„Vyhláška číslo 306 Energetického regulačního úřadu z 20. srpna 2001 říká, že každý odběratel elektrické energie má právo odebírat elektrickou energii o jasně definované kvalitě“ [1]. S rozvojem technologií a zařízení, je důležité dodržovat limity kvality napětí, které jsou určeny normami. Každý odběratel připojený na elektrickou síť, přispívá svým provozem k rušivým vlivům, které mohou za určitých podmínek narušit parametry sítě, do které jsou připojeni. Kvalitou napětí v distribučních sítích se zabývá evropská norma ČSN EN 50160. [1]

1.1. Norma ČSN EN 50160

Evropská norma zabývající se kvalitou napětí pro veřejné distribuční sítě nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí. Norma definuje meze nebo hodnoty napětí, které musí být v sítích dodrženy za normálních provozních podmínek. Normální provozní podmínky lze definovat jako stav, kdy jsou v distribuční síti splněny všechny požadavky na zatížení, spínání v soustavě a odstraňování poruch automatickými ochrannými systémy, bez výskytu mimořádných provozních stavů, které vznikly poruchou, údržbou a výstavbovými pracemi nebo minimalizací trvání ztráty napájení v síti. Dále se norma nevztahuje na situace ve výjimečných situacích zahrnující přírodní katastrofy, cizí zavinění, vyšší moc atd. Norma dále dělí parametry na jevy průběžné a napěťové. [1]

1.1.1. Průběžné jevy

Jevy průběžné jsou způsobeny připojováním zátěže a lze je částečně předpovědět. V normě jsou průběžné jevy definovány mezemi, které může jakýkoliv uživatel sítě očekávat při normálních provozních podmínkách. [1]

Patří zde:

- Kmitočet sítě
- Velikost napájecího napětí
- Odchyłky napájecího napětí
- Rychlé změny napětí
- Velikost rychlých změn napětí
- Míra vjemu flikru
- Nesymetrie napájecího napětí
- Harmonická napětí
- Meziharmonická napětí

1.1.2. Napěťové jevy

Napěťové jevy se za normálního provozu projevují neočekávaně a mohou být způsobeny vlivem změn zatížení, rušením určitého množství zařízení a poruchami, které mohou být vyvolané vnějšími vlivy např. pádem stromu na vedení, atmosférickým přepětím při bouři apod. Parametry se mohou měnit náhodně v čase k libovolnému místu napájení a tím můžou být očekávané hodnoty napětí v malém počtu překračovány. Norma nedefinuje konkrétní limitní meze, ale zabývá se jejich klasifikací a slouží pro informativní účely. [1]

Mezi napěťové jevy můžeme zařadit:

- Krátkodobé poklesy napájecího napětí
- Krátkodobá přerušení napájecího napětí
- Dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- Dočasná zvýšená napětí způsobená atmosférickým přepětím
- Přechodná zvýšená napětí mezi živými vodiči a zemí

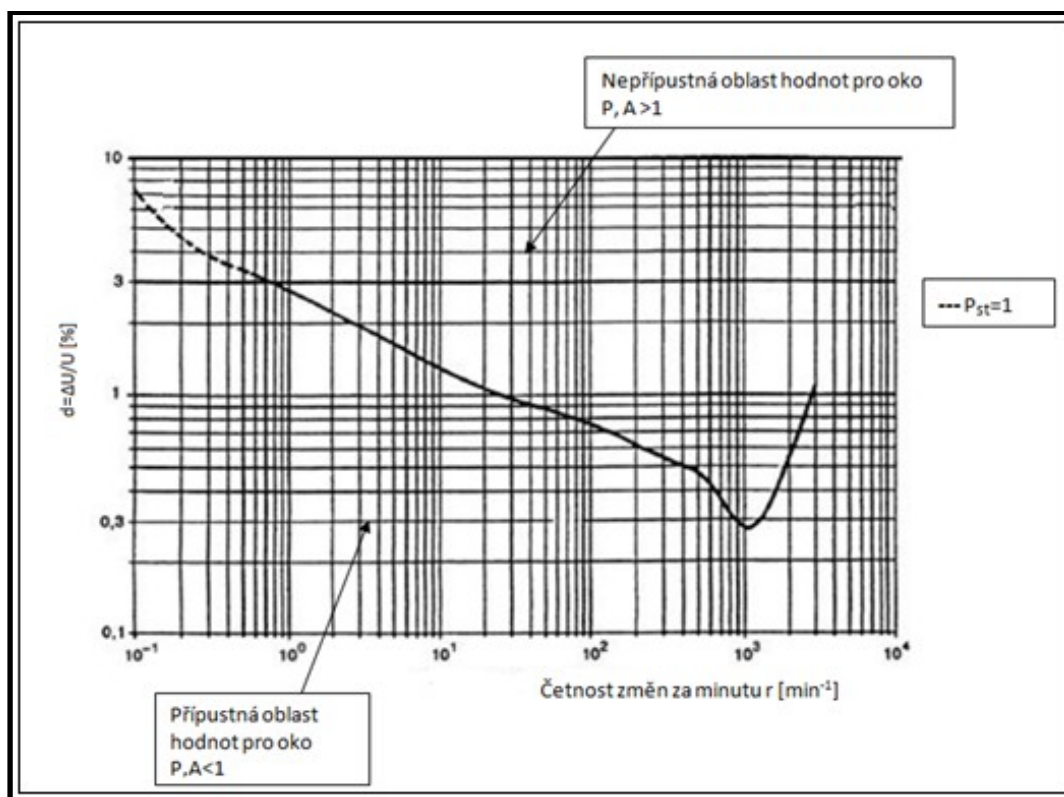
2. Rozbor problematiky Flikru

2.1. Flikr

„Flikr je vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podmětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase“ [2]. Jedná se o velmi nepříjemný zrakový vjem, který při kolísání napájecího napětí (při překročení prahové hodnoty), může působit nepříjemné poklesy zářivého toku světelného zdroje. Velikost nepříjemnosti roste s amplitudou kolísajícího napájecího napětí a frekvencí změny napětí. Při určitých frekvencích mohou být nepříjemné i menší amplitudové změny. Jedná se o komplexní problém, který je závislý na principu světelného zdroje, jeho konstrukci, předřadném zařízení, ale i provozních podmínkách. Nejvíce citlivé na změny napájecího napětí jsou žárovky, u nichž platí přímá úměra světelného toku a napájecího napětí. [2]

Výzkumem a mnoha lety zkušeností při měření flikru, byla vytvořena křivka zřetelnosti a závažnosti flikru (obr. 1). Tato křivka je zkonstruovaná závislost hodnoty kolísání napětí (osa Y) na frekvenci napěťových změn (osa X). Křivka nám vyhraničuje dvě plochy. Plocha nad křivkou, určuje hodnotu amplitudy kolísání napětí, které mohou být nepříjemné a vyvolat blikání. Zatímco plocha pod křivkou odpovídá amplitudám, při kterých by se nepříjemný jev neměl projevit nebo být v přijatelných mezích. [4]

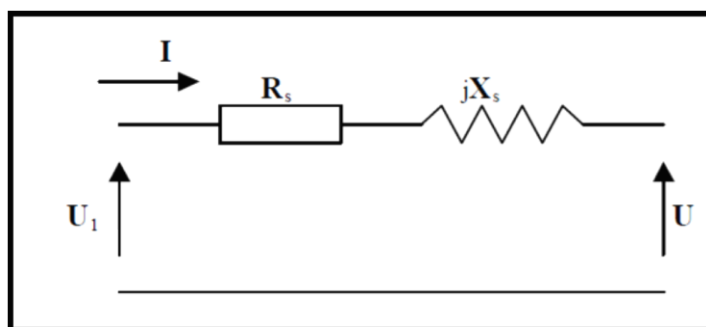
Flikr má zásadní vliv na zrakovou funkci lidského mozku. Vlivem světelného zdroje může flikr narušit vidění a způsobit tak psychickou únavu, která může vést, v některých případech, k nehodám na pracovišti. [4]



Obrázek 1 - Křivka zřetelnosti a závažnosti flikru [2]

2.2. Příčiny vzniku flikru

Hlavní příčinou vzniku flikru je kolísání napájecího napětí, které je způsobeno zejména velkými zařízeními v místě spotřeby. Velkými zdroji způsobující flikr považujeme spínání velké zátěže, rozběhy velkým motorů, elektrické obloukové pece, svářečky a zařízení s proměnlivou zátěží. Příspěvkatelem nemusí být pouze jednotlivá velká zařízení, ale skupina menších dynamických strojů, které samy o sobě síť příliš neovlivní. Změny amplitudy napětí ovlivňuje změna činného a jalového výkonu (viz. Rovnice 4). Připojením zátěže na síť, dojde k odběru proudu spotřebičem a na vedení vzniknou napěťové ztráty (úbytek napětí). Tento úbytek můžeme vyjádřit na modelu napájecí sítě (Obr. 2) [2]:



Obrázek 2 - Model napájecí sítě nn a vn [2]

Vyjádření úbytku napětí na vedení:

$$U = U_1 - \Delta U = U_1 - (I_c \cdot R_s + I_j \cdot X_s) \quad (1)$$

Vyjádření proudů:

$$I_c = I \cdot \cos \varphi = \frac{P}{3 \cdot U} \quad (2)$$

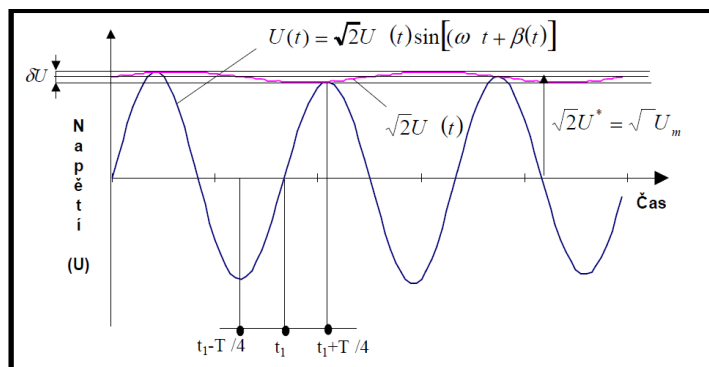
$$I_j = I \cdot \sin \varphi = \frac{Q}{3 \cdot U} \quad (3)$$

Dosazením do vztahu:

$$U = U_1 - \frac{1}{3U} (P \cdot R_s + Q \cdot X_s) \quad (4)$$

Při konstantním zatížení nedochází v průběhu času k žádným změnám napětí, ale při změně je potřeba tuto změnu vyjádřit:

$$\delta U = \frac{1}{3U} (\delta P \cdot R_s + \delta Q \cdot X_s) = \Delta I_c \cdot R_s + \Delta I_j \cdot X_s = \delta(\Delta U) \quad (5)$$



Obrázek 3 - Harmonický průběh napětí [2]

Definice efektivní hodnoty v čase t_1

$$U_{ef}(t_1) = \sqrt{\frac{2}{T} \int_{t_1+T/4}^{t_1+T/4+T/4} u^2(t) dt} \quad (6)$$

Kde: $T=20\text{ms}$ a $\omega=2\pi/T$

Střední hodnota efektivních hodnot

$$U_{(stř)} = \lim \left[\frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt \right] = U^* \quad (7)$$

Z rovnic výše, lze říci, že flickr není závislý pouze na změně amplitudy napětí, ale také na jejich frekvenci.

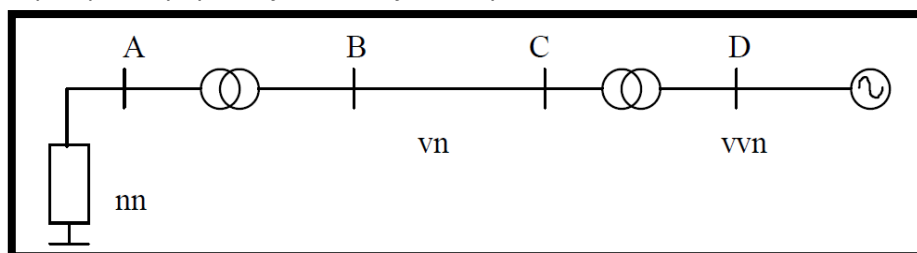
2.3. Šíření flickru v síti

Flickr se po vedení šíří od místa vzniku všemi směry a jeho intenzita se bude (především v paprskových sítích) zmenšovat.

Znamená to tedy, že se flickr šíří:

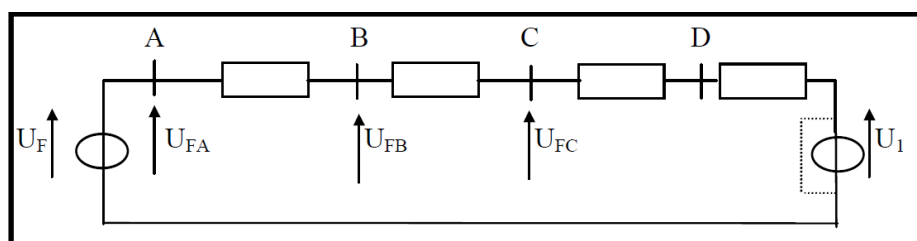
- Směrem k nižším napěťovým úrovním,
- Směrem k vyšším napěťovým úrovním,
- Ve stejné napěťové hladině, ve které flickr vznikl

Všechny tyto předpoklady vycházejí z následující úvahy na modelu sítě.



Obrázek 4 - Model sítě [2]

Uvažujme, že zdroj flickru se nachází v síti nízkého napětí a v blízkosti není další zdroj rušení (Obr. 4). Kde U_F představuje rušení způsobené zařízením v síti a intenzita rušení se rozdělí v poměru sériových impedancí.



Obrázek 5 - Schematický model sítě [2]

Stanovení hodnoty flickru na všech napěťových hladinách ze vztahu

$$U_{FA} : U_{FB} : U_{FC} = \frac{1}{S_k^{(A)}} : \frac{1}{S_k^{(B)}} : \frac{1}{S_k^{(C)}} \quad (8)$$

Kde: S_k - jsou zkratové výkony v daném bodě.

V místech A a B můžeme brát, že:

$$\frac{U_{FA}}{U_{FB}} = \frac{S_k^{(B)}}{S_k^{(A)}} \quad (9)$$

Pak pro krátkodobou míru vjemu P_{st} , při uvažování, že flikr je úměrný kolísání napětí, lze napsat rovnici:

$$P_{st}^{(B)} = \frac{P_{st}^{(A)} \cdot S_k^{(A)}}{S_k^{(B)}} \quad (10)$$

Základním ukazatelem změny kolísání napětí v závislosti na směru šíření mezi hladinami NN, VN a VVN je Transportní koeficient. Velikost transportního ukazatele je dána vztahem:

$$T_{PST,A-B} = \frac{P_{ST,B}}{P_{ST,A}} \quad (11)$$

Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že:

Rušení se utlumuje v těchto případech:

- Při přenosu rušení ze sítě VN do sítě VVN
- Při přenosu rušení ze sítě NN do sítě VN

Rušení se zesílí v těchto případech:

- Při přenosu rušení ze sítě VVN do sítě VN
- Při přenosu rušení ze sítě VN do sítě NN

2.4. Vyhodnocování flikru z pohledu elektrických parametrů

Měření flikru se provádí pro zjišťování kvality napájení (Porovnání naměřených hodnot v měřeném místě s doporučenými hodnotami udávanými normou) a odhadem emisních úrovní při návrhu zařízení před jejich uvedení na trh (Provedení typových testů z důvodů certifikace). [3]

Flikr se řadí mezi náhodné veličiny způsobené stochastickými změnami zatížení a předpokládáme, že během sledovaného období bude hodnota flikru kolísat (měnit se) v širokém intervalu a nahodile. Proto je potřeba zjistit nejen nejvyšší možnou hodnotu, ale i procentuální hodnoty překročení určité úrovně během sledovaného období. K vyjádření těchto hodnot slouží činitele míry vjemu flikru. [2]

Intenzitu nepříjemnosti způsobené flikrem lze definovat činiteli kolísání napětí - krátkodobou mírou vjemu flikru P_{st} a dlouhodobou mírou flikru Plt . Z naměřených hodnot můžeme prokazatelně dokázat kvalitu napájení v daném bodě připojení. Hodnoty se získávají přímým měřením za provozu, matematickými modely nebo simulací v odpovídajícím programu. K získání průkazných hodnot pro vyhodnocení je potřeba, aby měření probíhalo minimálně týden. [2]

2.4.1. Krátkodobá míra vjemu P_{st}

Krátkodobá míra vjemu se měří po dobu deseti minut. Dochází tak k vyhodnocování zejména vlivů rušení způsobené jedním zdrojem s krátkým cyklem. Pro výpočet krátkodobé míry vjemu byl odvozen následující vzorec:

$$P_{st} = \sqrt{K_{0,1} \cdot P_{0,1} + K_1 \cdot P_{1s} + K_3 \cdot P_{3s} + K_{10} \cdot P_{10s} + K_{50} \cdot P_{50s}} \quad (12)$$

Kde: K_n - váhové koeficienty (Pro jednotlivé úrovně překročení)
 P_n - úrovně překročení při vzorkování (Percentily)

Pro tento algoritmus komise IEC definovala 5 úrovní blikání [2]:

$P_{0,1}$ – je úroveň, která je překročena v 0,1% sledovaného intervalu

P_1 – je úroveň, která je překročena v 1% sledovaného intervalu

P_3 – je úroveň, která je překročena v 3% sledovaného intervalu

P_{10} – je úroveň, která je překročena v 10% sledovaného intervalu

P_{50} – je úroveň, která je překročena v 50% sledovaného intervalu

Odpovídající váhové koeficienty pro jednotlivé úrovně [2]:

Pro úroveň 0,1% je $K_{0,1}=0,0314$

Pro úroveň 1% je $K_1=0,0525$

Pro úroveň 3% je $K_3=0,0657$

Pro úroveň 10% je $K_{10}=0,28$

Pro úroveň 50% je $K_{50}=0,08$

Do výpočtů se zavádějí tzv. Vyhlazené hodnoty percentilu, které by měly při výpočtech předcházet nestabilitě výpočtu a změn vypočtených hodnot flickru, způsobené provozními cykly připojených zatížení.

$$\begin{aligned} P_{1s} &= \frac{P_{0,7} + P_1 + P_{1,5}}{3} \\ P_{3s} &= \frac{P_{2,2} + P_3 + P_4}{3} \\ P_{10s} &= \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5} \\ P_{50s} &= \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3} \end{aligned} \quad (13)$$

Hodnotu $P_{0,1}$ není potřeba vyhlazovat, protože časová konstanta paměti flickrmetru je 0,3s to zajistí, že hodnota $P_{0,1}$ se nemůže náhle měnit. [2]

2.4.2. Dlouhodobá míra vjemu Plt

Dlouhodobá míra vjemu Plt vychází z posloupnosti dvanácti po sobě jdoucích hodnot krátkodobé míry vjemu a vyhodnocuje se po dobu dvou hodin. Využívá se pro ověření skupin zdrojů rušení, které svým provozem a pracovním cyklem přispívají k rušivým vlivům. Norma ČSN EN 50160 definuje, že 95% hodnota dlouhodobé míry vjemu flickru nesmí během libovolného sledovaného intervalu periody překročit hodnotu 1,0. [2]

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (14)$$

Hodnoty definované normou lze v určitých případech překročit za podmínek, že nedojde k překročení kvality v době svícení. Hodnoty relativní změny napájecího napětí lze překročit do 10% za předpokladu, že se vyskytnou pouze několikrát za den.

2.5. Měření elektrických parametrů flikru

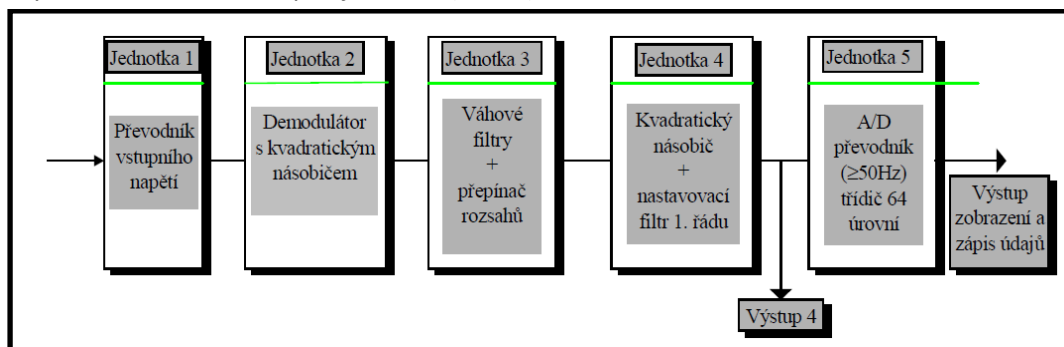
Měření rušivých vlivů flikru je obtížné. Proto byla vyvinuta UIE/IEC metoda pro jeho měření. Měření vychází ze simulace procesu lidského mozku vnímat napěťové změny (Řetězec: Napěťová změna – světelný zdroj – oko – proces vnímání v lidském mozku), dává pozorovateli spolehlivou odezvu na různé druhy flikru. Zásadními parametry, které ovlivňují rušivý vliv flikru, jsou Amplituda a frekvence. V praxi se využívají dvě metody. Metoda modelu žárovka – oko a Měřič blikání – flikrmetr.[2]

2.5.1. Metoda modelu žárovka – oko

Při této metodě se využívá závislosti světelného toku na napájecím napětí u žárovek. Kolísání napětí způsobuje kolísání světelného toku, to má za následek snížení kvality zrakového vnímání. Model se skládá ze světelného zdroje (žárovky) a měřiče intenzity světelného toku. Jako měřič může být použit například luxmetr nebo oko. Danou metodu využíváme zejména na pracovištích, kde by nepříjemné blikání mohlo negativně působit na soustředěnost a vnímání člověka při pracovním úkonu. [2]

2.5.2. Flikrmetr

Flikrmetr je univerzální přístroj k měření a vyhodnocování parametrů sítě. Přístroj musí podléhat příslušným normám a respektovat poměrně velké nároky na kvalitu a rychlost měření. Měřicí přístroj je definovaný normou a skládá se z pěti jednotek (Obr. 6) [2]:



Obrázek 6 - Blokové schéma měřicího přístroje – Flikrmetr [2]

Složení flikrmetru:

- Jednotka 1:** Převodník napětí. Na vstupu je napájecí napětí převedeno na vnitřní referenční napětí
- Jednotka 2:** Demodulátor s kvadratickým násobičem má za úkol oddělit základní napětí při 50 Hz od napětí způsobující flikr
- Jednotka 3:** Dva váhové filtry + volič rozsahu. První filtr odstraní stejnosměrnou složku a složky s dvojnásobným kmitočtem sítě na výstupu z demodulátoru. Druhý filtr vytváří odezvu flikrmetru na kolísající napájecí napětí.
- Jednotka 4:** Kvadratický násobič + dolní propust 1. Řádu.

(První čtyři jednotky představují řetězec: Napěťová změna – světelný zdroj – oko – proces vnímání v lidském mozku a výstup ze čtvrté jednotky představuje okamžitý vjem flikru).

Jednotka 5: Mikroprocesor. Provádí průběžné hodnocení úrovně flikru a umožňuje přímý výpočet důležitých parametrů.

K měření a sledování kvality elektrických sítí využíváme sdružené analyzátory. Přístroje dokážou měřit harmonické (FFT analyzátor), monitorovat výkony, napětí a proudy, měření flikru, analyzátor signálu HDO, zkratové impedance a symetrických složek, zapisovač poruchových dějů a další. Tyto přístroje mohou být trvale uloženy v blízkosti rozvaděčů (BK-ELCOM ENA 330) nebo v kompaktním přenosném provedení (C. A 8336).



Obrázek 7 - Analyzátory sítí BK ELCOM ENA 330 a C. A 8336 [17] [18]

2.6. Vyhodnocování flikru z pohledu světelných parametrů

Každá změna napájecího napětí se projeví na světelném zdroji změnou světelných parametrů. Každý světelný zdroj generuje světelný tok, který je závislý na napětí. Změnou napětí tedy dochází i ke změně vyzářeného světelného toku. V důsledku kolísání světelného toku dochází k snížení celkové kvality osvětlení a vzniku nežádoucích jevů. Mezi tyto jevy patří Stroboskopický jev. Jedná se o nebezpečný jev, který může způsobit u rotujících částí zkreslující představu o rychlosti otáčení. Při určitých frekvencích se totiž může jevit, že rotující části stojí nebo se otáčejí opačným směrem a může to vést k vážným zraněním. Kolísání světelného toku zdroje působí jako rušivý a tak přispívá k rychlejší únavě a snížení pracovního výkonu. Při vyhodnocování těchto vlivů u světelných zdrojů se setkáme s pojmem míhání.

2.6.1. Míhání

Míhání je definované jako změna světelného toku světelného zdroje nebo svítidla vlivem kolísání napětí napájecího zdroje. Míhání se projevuje při určitých frekvencích menších než frekvence splývání. Nejcitlivější frekvence se nachází mezi 7 až 13 Hz. Hodnota míhání se vyjadřuje činitelem vlnitosti světla. [5]

Činitel vlnitosti světla je dán vztahem:

$$k_f = \frac{\Phi_{max} - \Phi_{min}}{\Phi_{max} + \Phi_{min}} \cdot 100 \quad (15)$$

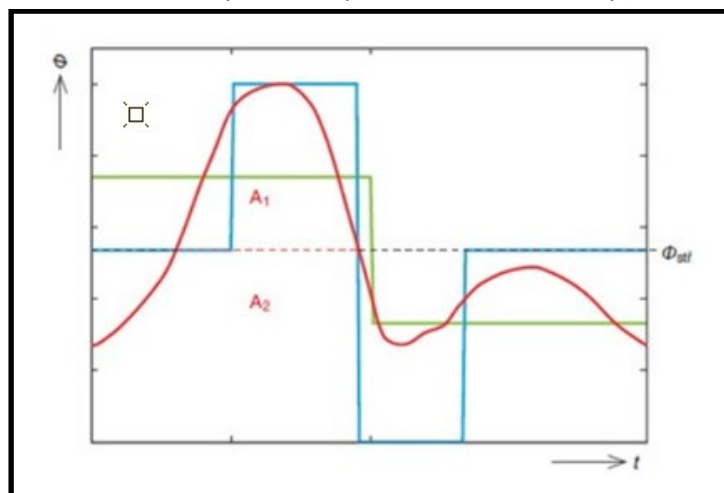
Kde Φ_{max} a Φ_{min} jsou zaznamenané maxima a minima světelného toku během jedné periody. Hlavní nevýhodou tohoto postupu je, že výpočet nezohledňuje frekvenci ani tvar vlny, které jsou pro míhání velmi podstatné. Proto byla navržena nová veličina index míhání. [5]

Index míhání je dán vztahem:

$$f = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \quad (16)$$

Kde: A_1 – je plocha ohraničena světelným tokem nad linií střední hodnoty

A_2 – je plocha ohraničena světelným tokem pod linií střední hodnoty (viz. Obr. 8)



Obrázek 8 - Průběh vlny světelného toku [5]

2.7. Měření světelně-technických veličin

Cílem měření je určit číselné vyjádření měřené veličiny se stanovenou jednotkou. Měření můžeme provádět za účelem zjišťování nebo ověřování světelně-technických veličin nově instalovaných světelných zdrojů, svítidel a osvětlovacích soustav nebo kontrole změn provozních parametrů uvedených zařízení. Důležitým parametrem měřené veličiny nebude jen její velikost, ale také nejistota jejího určení. Podle účelu a přesnosti měření se rozlišují měření:

Přesná – Využívají se při tvorbě etalonu, kalibracích, pro výzkumné práce a jejich odhadovaná rozšířená nejistota je $U \leq 8\%$.

Provozní – Za účelem ověření a porovnávání světelně-technických veličin světelných zdrojů, svítidel a osvětlovacích soustav, jejichž odhad rozšířené nejistoty je $8\% < U \leq 14\%$.

Orientační – Zejména kontrola základních funkcí zařízení, ověřování podmínek pro zrakovou pohodu. Odhad rozšířené nejistoty je $14\% < U \leq 20\%$. [7]

2.7.1. Fotometrie

Tento pojem vznikl ze dvou latinských slov photos (světlo) a metron (měřit). Fotometrie se zabývá měřením a zkoumáním světelně-technických veličin.

Z pohledu fotometrie se měří veličiny:

Prostorové rozložení svítivosti (cd),

Světelný tok (lm),

Měrný výkon světelného zdroje (lm/W)

Vyzařovací úhel (°)

Měření světelně-technických veličin se provádí dvěma metodami. Jedná se o metodu subjektivní (Vizuální metody, využívají jako čidlo lidské oko) a objektivní (Fyzikální metody, pro měření použity fyzikální čidla – Fotoelektrické články).

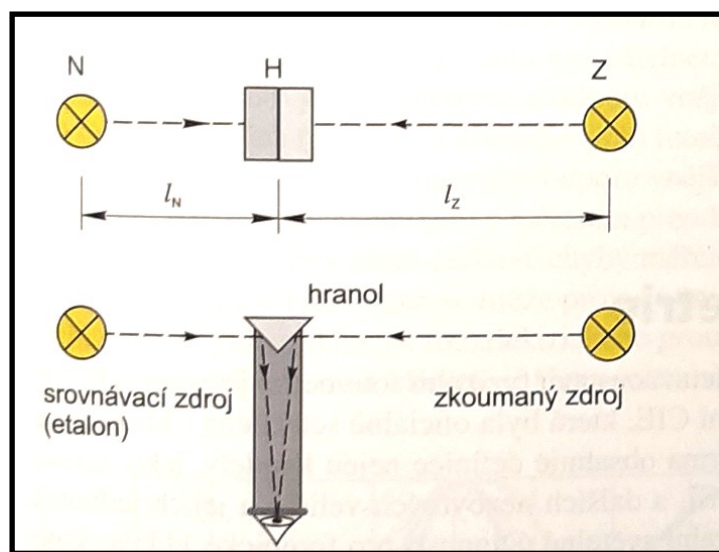
2.7.2. Vizuální fotometrie

U vizuální fotometrie dochází k porovnávání rovnosti jasů měřeného zdroje a normálu (etalonu). Využívá se tak schopnost lidského oka porovnávat rovnost jasu dvou sousedících ploch. Měření probíhá na fotometrické lavici (Obr. 9). K měření se využívá fotometr, který je tvořený hlavici s fotometrickou kostkou a clonou (popř. filtrem) sloužící k zeslabování světla srovnávacího zdroje či etalonu. Fotometrická kostka je tvořena trojbokým hranolem, který je osvětlován z jedné strany etalonem a z druhé strany měřeným zdrojem. Fotometrická kostka zde slouží k nastavení vhodného fotometrického pole. Nastavováním vzdáleností etalonu a měřeného zdroje od hranolu, dochází k vyrovnávání jasů pozorovaných ploch. [7]

Po vyrovnání jasů obou zdrojů platí pro poměr jejich svítivostí vztah:

$$\frac{I_Z}{I_N} = \frac{(l_Z)^2}{(l_N)^2} \quad (17)$$

Ze kterého lze při známé svítivosti etalonu I_N a odečtených vzdáleností (l_N a l_Z) snadno určit svítivost měřeného zdroje I_Z .



Obrázek 9 - Vizuální měření na fotometrické lavici [7]

Schematické uspořádání vizuálního měření na fotometrické lavici:

N – Etalon svítivosti

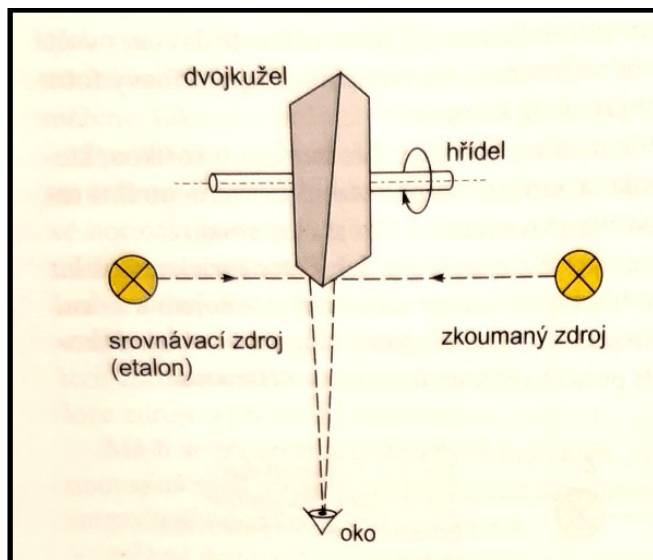
Z – Měřený zdroj

H – Fotometrická hlavice s trojbokým hranolem pro měření na stejný jas.

Důležitou podmínkou při srovnání jasů dvou sousedních ploch je chromatičnost světla obou zdrojů. Při rovnosti chromatičnosti se měřicí přístroje nastavují na stejný jas nebo stejný kontrast sousedních porovnávaných ploch fotometru. V případě rozdílné chromatičnosti světla porovnávaných zdrojů je potřeba nejdříve upravit jejich barevný vjem světla, a teprve poté je lze nastavit na stejný jas (popř. kontrast.). Pro úpravu chromatičnosti se využívá barevných filtrů nebo střídavé osvětlování zorného pole fotometru měřeným a zkoušeným zdrojem (tzv. míhavý fotometr). [7]

2.7.2.1 Míhavý fotometr

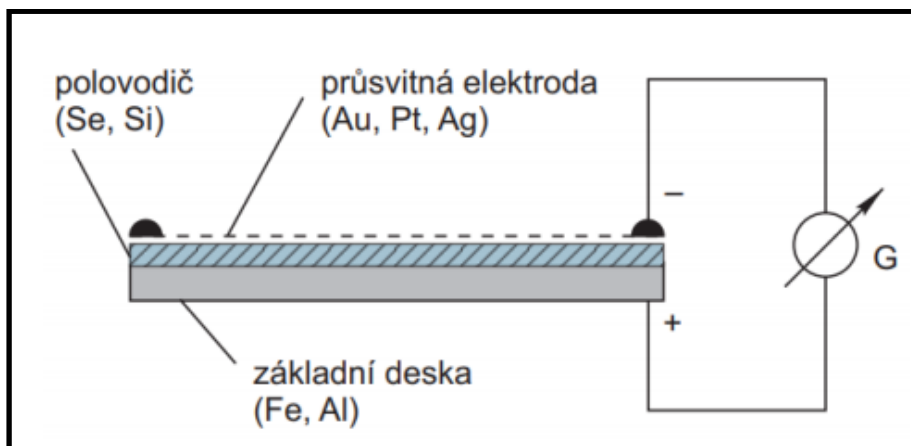
Jeho základem je dvojkužel se seříznutou společnou základnou, který se otáčí na hřídeli (Obr. 10). Kužel je osvětlován z jedné strany měřeným zdrojem a z druhé strany srovnávacím zdrojem. Při otáčení dochází k pohybu dělící hrany kuželu zprava doleva a opačně. Při dosažení určité rychlosti otáčení, dojde ke splnutí barev světél a zůstane míhání v jas. Poté už stačí nastavit určitý poměr vzdálenosti měřeného zdroje a etalonu vzhledem ke dvojkuželu tak, aby došlo k vyrovnání jasů obou zdrojů. To se projeví tím, že pozorovatel přestane míhání vnímat. [7]



Obrázek 10 - Míhavý fotometr [7]

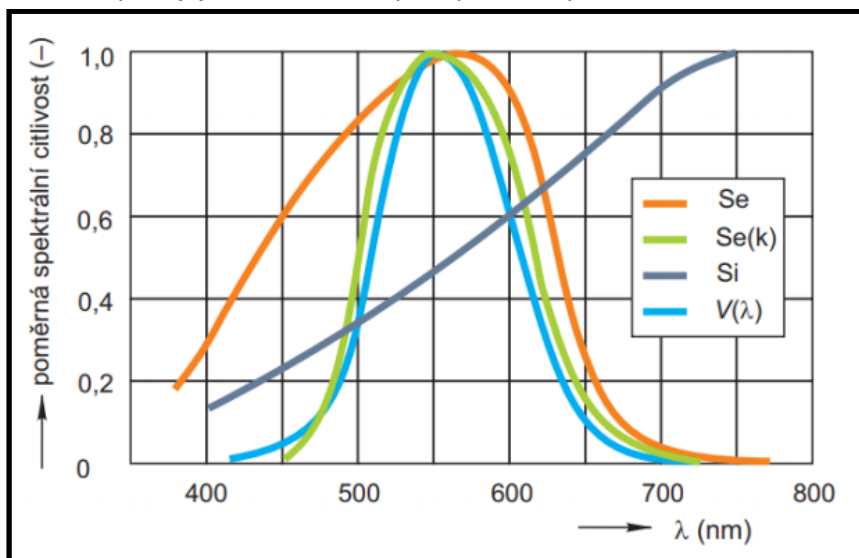
2.7.3. Fyzikální fotometrie

U fyzikální fotometrie se nahrazuje funkce lidského zraku jako přijímače fyzikálními čidly. Nejčastěji se jedná o fotoelektrické články neboli fotočlánky (Obr. 11). Fotoelektrické články jsou založeny na principu fotoelektrického jevu, kdy při dopadu světelného toku na polovodičovou vrstvu (Nejčastěji ze Selenu nebo křemíku) nanesenou na kovovém základu (Železo nebo hliník), dojde mezi těmito vrstvami k rozdílu potenciálu. Na povrchu polovodičové vrstvy je nanesená tenká průsvitná vodivá vrstva z platiny, stříbra nebo zlata, která se nachází po celém obvodu fotoelektrického článku a slouží jako elektroda pro odvod elektrického proudu. [7]



Obrázek 11 - Schéma fotoelektrického článku [7]

Důležitou podmínkou pro všechny fotoelektrické články je co nejbližší shoda průběhu křivky spektrální citlivosti fotoelektrického článku s křivkou $V(\lambda)$ spektrální citlivosti normálního fotoelektrického pozorovatele (viz. Obr. 12). Jedná se o velmi důležitou podmínku zejména pro měření výbojových světelných zdrojů s čárovým nebo kombinovaným spektrem. U moderních, fotoelektrických článků se korekce provádí diferenciálními filtry. Použitím diferenciálních filtrů vede ke snížení citlivosti fotoelektrických článků. Zvýšení jejich citlivosti lze vykompenzovat použitím moderních zesilovačů. [7]



Obrázek 12 - Graf průběhů spektrálních citlivostí [7]

Se – Nekorigovaný selenový fotočlánek

Si – Nekorigovaný křemíkový fotočlánek

Se(k) – Korigovaný selenový fotočlánek

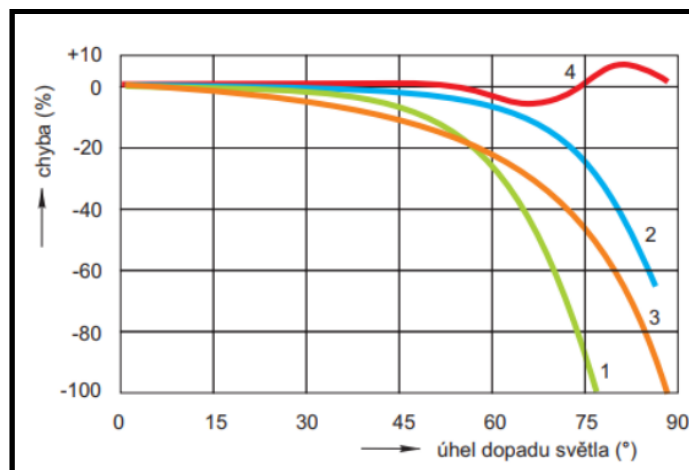
$V(\lambda)$ – Poměrná spektrální citlivost normálního fotoelektrického pozorovatele

2.7.3.1 Únava fotoelektrického článku

Tento jev se projevuje při delších měřeních. Projevuje se zejména u selenových fotoelektrických článků. Únava fotoelektrického článku vede k poklesu fotoelektrického proudu při konstantní osvětlenosti. Pro správnou funkci je důležité kontrolovat jejich činnost po uplynutí 30 minut až 1 hodiny měření. Citlivost selenových fotoelektrických článků je obnovitelná při osvětlování do 1000 lx. Při osvětlení nad 1000 lx je tento jev nevratný a citlivost článku poklesne trvale. Pro měření vysokých hladin osvětlenosti využívají fotoelektrické články clony s otvory, pro omezení dopadu světelného toku na přijímací plochu článku. [7]

2.7.3.2 Chyby fotoelektrických článků na úhel dopadu světla

Fotoelektrické články se kalibrují pro kolmý dopad světla. Při dopadu světelného toku pod úhlem větším než 30° byly zjištěny odchylky při měření. Tyto odchylky jsou způsobeny částečnými zrcadlovými odrazy, sníženou propustností horní vrstvy, cloněním okraje fotoelektrického článku obrubou. K odstranění úhlové (směrové) chyby se používají kosinusové nástavce ve tvaru kulového vrchlíku z rozptýlného skla. [7]



Obrázek 13 - Chyby různých fotoelektrických článků v závislosti na úhlu dopadu světla [7]

- 1 – Fotočlánek s přechýlující obrubou
- 2 – Fotočlánek bez obruby
- 3 – Fotočlánek s korekčním filtrem
- 4 – Fotočlánek s kosinusovým nastavcem

2.7.4. Nejistota měření

Přesnost měření odpovídá rozdílu hodnoty naměřené a skutečné. Vzhledem k tomu, že ve většině případů skutečnou hodnotu neznáme, zavádí se tzv. konvenčně pravá hodnota. Konvenčně pravou hodnotu lze vytvořit např. referenčním etalonem, kterým nahradíme skutečnou hodnotu. Rozdílem naměřené hodnoty a konvenčně pravé hodnoty se jedná o absolutní chybu měření.

Chyba měření se dá rozdělit na chybu náhodnou a chybu systematickou. Chyba náhodná v sobě obsahuje složku chyby, které se při opakovaném měření nepředvídatelně mění. Systematická chyba je tvořena systematickou chybou měřicího zařízení (Odstraňuje se kalibrací) a systematickou chybou metody. V případě korekce systematické chyby všech měřících zařízení zde zůstává určitá nejistota o tom, do jaké míry je zjištěný korigovaný výsledek shodný s pravou hodnotou měřené veličiny.

Přesnost měření se vyjadřuje nejistotou měření. Jedná se o parametr, který udává určitou oblast hodnot okolo naměřené hodnoty, v němž se s určitou pravděpodobností nachází pravá naměřená hodnota měřené veličiny. Nejistotu měření lze charakterizovat standardní nejistotou typu A a B. [7]

2.7.4.1 Standardní nejistota typu A

Standardní nejistota typu A je dána neznámou příčinou a vyjadřuje se statickou analýzou. Pro určení nejistoty typu A se získává soubor naměřených dat měřené veličiny opakováním měření a následným vyčíslením pomocí aritmetického průměru viz Rovnice 18:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (18)$$

Kde: n – počet opakování měření ($n > 20$)
 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ – naměřené hodnoty

Pro vyjádření nejistoty v procentech se zavádí standardní nejistota u_{Ax} typu A. Hodnota je vztažena k aritmetickému průměru a stanovuje se pomocí výběrové směrodatné odchylky střední hodnoty. [7]

$$u_{Ax} = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (19)$$

2.7.4.2 Standardní nejistota typu B

Standardní nejistota typu B je způsobena nejčastěji známou příčinou chyby. Daná chyba se nachází s určitou pravděpodobností v okolí konvenčně pravé hodnoty a může být způsobena nesprávně umístěnými měřicími přístroji v kontrolním bodě. Existují dva typy určení chyby. Uvažuje se normální nebo rovnoměrné rozdělení. V případě, že sledovanou chybu lze soustředit v rámci malého počtu měření, uvažuje se normální rozdělení. Není-li možné danou chybu vztáhnout do určitého intervalu a chyba se může vyskytovat kdekoliv, uvažuje se rovnoměrné rozdělení. [7]

Hodnota nejistoty typu B je dána poměrem maximální velikosti chyby Z_{\max} (%) a činitele χ daného pravděpodobnosti statického rozdělení uvažované chyby.

$$u_B = \frac{Z_{\max}}{\chi} \quad (20)$$

Kde: $\chi=2$ – Normální rozdělení a překročení Z_{\max} je nepravděpodobné

$\chi=3$ – Normální rozdělení a hodnota Z_{\max} je nepřekročitelná

$\chi=\sqrt{3}$ – Rovnoměrné rozdělení

2.7.4.3 Kombinovaná standardní nejistota u_c

Výsledná kombinovaná standardní nejistota je dána sloučením všech nejistot typu A a typu B pro jednotlivé zdroje chyb a je dána vztahem:

$$u_c = \sqrt{(u_{A1})^2 + (u_{A2})^2 + \dots + (u_{B1})^2 + (u_{B2})^2 + \dots} \quad (21)$$

3. Požadavky na osvětlovací soustavy veřejného osvětlení

Veřejné osvětlování (dále VO) slouží k osvětlování veřejných komunikací a prostranství. U návrhu VO jsou důležité nejen světelně technické parametry, ale také další hlediska, které jsou potřeba vzít v úvahu při návrhu osvětlovací soustavy. U světelně technických parametrů hledíme na správnou volbu světelného zdroje a svítidla pro rovnoměrné osvětlení požadovaného prostředí, k zajištění fyziologických a bezpečnostních požadavků. Z hlediska provozně technických je potřeba zohlednit energetickou náročnost osvětlovací soustavy, její provoz a údržbu. Důležitou součástí jsou také investiční i provozní náklady VO.

3.1. NORMA ČSN EN 13201 – Osvětlování pozemních komunikací

Z legislativního a technického pohledu se pro návrh VO zabývá evropská norma ČSN EN 13201- Osvětlení pozemních komunikací a skládá ze souboru norem:

- **ČSN CEN/TR 13201– 1:** Výběr třídy osvětlení
- **ČSN EN 13201 – 2:** Požadavky na osvětlení
- **ČSN EN 13201 – 3:** Výpočtová část určená pro výrobce a dodavatele svítidel
- **ČSN EN 13201 – 4:** Metody a postupy pro měření realizovaných soustav
- **ČSN EN 13201 – 5:** Ukazatele energetické náročnosti

Úkolem prvních dvou částí souboru norem je správně zvolit třídu osvětlení pro zvolenou komunikaci. Pro správné zatřídění VO je potřeba definovat jednotlivé úseky pozemní komunikace z pohledu hlavního uživatele a jeho rychlosti. Dále je potřeba vyhodnotit prostorové uspořádání relevantní oblasti (směrové rozdělení komunikace, křižovatky, kolizní oblasti, atd.), vlivu intenzity provozu a okolí.

Rozdělení tříd osvětlení komunikací podle normy ČSN EN 13201 – 2 [6]:

- **ME/MEW:** Řidiči motorových vozidel pohybující se po pozemní komunikaci střední až vysokou povolenou rychlostí.
- **CE:** Řidiči motorových vozidel a jiní uživatelé pozemní komunikace v konfliktní oblasti.
- **S, A:** Pěší a cyklisti pohybující se po komunikacích pro pěší nebo cyklisty.
- **ES:** Pěší zóny z hlediska snížení rizika kriminality
- **EV:** oblasti pro zajištění dobré viditelnosti svislých ploch (např. křižovatky)

3.2. Základní požadavky na osvětlovací soustavy VO

3.2.1. Osvětlenost

Požadavek na osvětlenost se liší podle vykonávaného úkolu. Osvětlenost a její rozložení v místě zrakového úkolu a v jeho bezprostředním okolí mají velký vliv na to, jak rychle, bezpečně a pohodlně osoba vnímá a vykonává zrakový úkol. Různé parametry osvětlenosti proto budeme požadovat u pozemních komunikací a jinou na pracovních prostorech nebo sportovištích. Dané hodnoty osvětlenosti ve venkovních prostředích volíme z předem definované řady. V každém místě, ve kterém vykonáváme zrakový úkol, nesmí zvolená hodnota průměrné osvětlenosti klesnout pod danou hodnotu. V těchto případech se neuvažuje vliv stárnutí a stav osvětlovací soustavy. Nižší hodnoty v rozmezí 2 lx až 50 lx volíme v případech

osvětlení pozemních komunikací, střední hodnoty v rozmezí 50 lx až 500 lx pro osvětlení venkovních pracovních prostorů a prostředí venkovních sportovišť.

V případě osvětlenosti se bavíme o horizontální osvětlenosti. V určitých případech se také musíme bavit o tzv. vertikální osvětlenosti. Její použití využíváme při rozlišitelnosti osob a to v případech osvětlování důležitých komunikací pro chodce (0,5 až 50 lx) nebo sportovišť při televizních přenosech (500 až 5000 lx). Rozložení osvětlenosti se hodnotí pomocí rovnoměrného rozložení osvětlení, které je stanoveno poměrem minimální a průměrné osvětlenosti. [7] [6]

3.2.2. Rozložení jasu

Jas má zásadní vliv na zrakový výkon a zrakovou pohodu. Zrakový výkon je definován jako procentuální poměr detekovaných předmětů daných v kontrolním bodě z předem stanovené sady předmětů. Jas nám tedy podmiňuje kontrastní citlivost zraku a ovlivňuje kontrast překážek vzhledem k okolnímu pozadí. Na pozemních komunikacích je tedy vhodnější použít průměrný jas na srovnávací rovině než použití osvětlenosti. Průměrná hodnota jasu se u pozemních komunikací pro motorová vozidla pohybuje v rozmezí 0,3 cd/m² až 2 cd/m².

U jasu rozlišujeme celkovou rovnoměrnost jasů a podélnou rovnoměrnost jasů. Celková rovnoměrnost jasů je daná poměrem minimální a průměrné hodnoty jasu komunikace. Mohou vznikat tzv. Jasové přechody, které mohou být nepříjemné a mohou mít zásadní vliv na zrakový výkon a zrakovou pohodu řidičů. Proto se kromě celkové rovnoměrnosti jasu uvažuje i podélná rovnoměrnost jasů, která by měla těmto nepříjemným přechodům zabránit. Je definovaná jako minimální a maximální hodnota jasu rozložena podél přímky rovnoběžné s osou komunikace a procházející místem pozorovatele. Maximální hodnota jasu, která ještě nezpůsobuje rušivé účinky u venkovního osvětlení je hodnota 25 cd/m². [7] [6]

3.2.3. Oslnění

Zásadní parametr u venkovních osvětlovacích soustav, které přímo ovlivňují zrakový výkon. Je to důsledek rozptylu světla uvnitř oka, který vytváří v zorném poli jasový závoj. Tento závoj je popsán hodnotou ekvivalentního závoje jasu, jehož hodnota závisí na hodnotě osvětlenosti v úrovni očí pozorovatele. Úroveň oslnění narůstá nebo klesá s průměrným jasnem pozadí neboli adaptačním jasnem nebo s hodnotou závoje jasu. [7]

Omezující oslnění se hodnotí:

- u osvětlovacích soustav pozemních komunikací – **Prahovým přírůstkem TI (%)**, a udává zvýšení prahu rozlišitelnosti jasu
- u venkovních pracovních prostorů a sportovišť – **Činitelem oslnění GR**

Oslnění je tedy potřeba omezit, tak aby nedocházelo k oslňování uživatelů, předešlo se chybám, únavě a nehodám. Omezení oslnění můžeme provést úpravou povrchu, omezením jasu a zvětšením svíticí plochy svítidel, rovnoměrným rozložením svítidel. [6]

3.2.4. Směrové osvětlení

Jedná se o kvalitativní parametr, které jsou normou doporučeny. Směrové vlastnosti se popisují směrovostí a stínivostí. Směrovost znázorňuje směr šíření světla. Lze jej popsat světelným vektorem. Stínivost osvětlení znázorňuje, jak na trojrozměrných předmětech vznikají stíny. Směrové osvětlení

využíváme nejen pro osvětlení pozemních komunikací pro pěší, zvýraznění objektů, ale také pro odhalení a rozlišování obličejů kolemjdoucích osob. [7] [6]

3.2.5. Barevné vlastnosti

Barevné vlastnosti osvětlení je dáno indexem podání barev. Jedná se o parametr, který je popsán normami. Parametr index podání barev se nejvíce uvažuje při návrhu osvětlování venkovních pracovních prostorů, sportovišť, osvětlení důležitých pozemních komunikací (pěší zóny, obchodní zóny, centra měst). V těchto případech se doporučuje použití světelných zdrojů s lepším indexem podání barev, který ovlivňuje barevný vzhled předmětů i osob. Pro venkovní osvětlení těmito podmínkám nejlépe vyhovují halogenidové výbojky a žárovky (osvětlení zejména sportovišť), vysokotlaké rtuťové výbojky (osvětlení průmyslových prostorů), světelné diody (všestranné použití osvětlovací techniky). [7] [6]

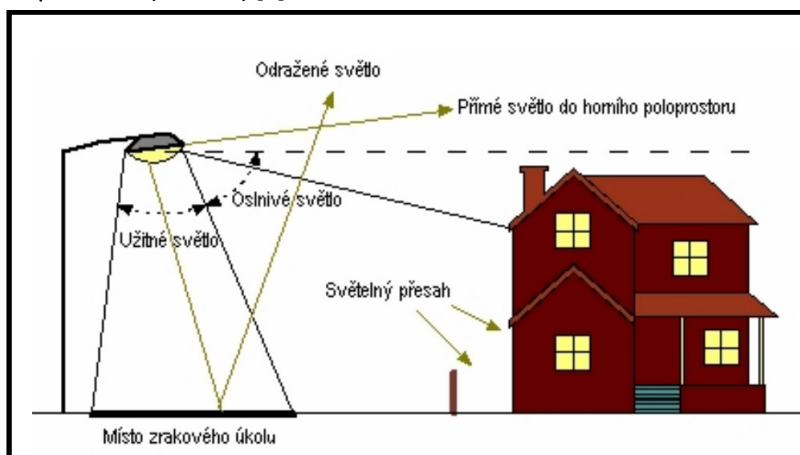


Obrázek 14 - Porovnání různých hodnot indexu podání barev

3.2.6. Omezení rušivého světla

Rušivé světlo je neúčinné světlo, které svými kvantitativními, směrovými nebo spektrálními vlastnostmi působí rušivě. Je vyvolané venkovními osvětlovacími soustavami. Řešíme ho v rámci oblastí životního prostředí, místního obyvatelstva, dopravní komunikace, astronomická pozorování, noční vzhled měst a obcí. Rušivé světlo tak může mít negativní vliv na životní prostředí.

Z pohledu důsledků rušivého světla je dělíme na: oslnivé světlo, světelný přesah, závojevý jas, podíl světla do horního poloprostoru. (Obr. 15) [7]



Obrázek 15 - Náčrt složek rušivého světla [6]

Rušivé účinky kontrolujeme několika parametry:

- Svislá osvětlenost E_v (lx) v úrovni fasád (hranic objektu) – Kontroluje se množství rušivého světla, které může pronikat do obytných místností pro spaní (ložnice, dětské pokoje).
- Svítivost svítidel v daném směru I_v (cd) – Určuje výskyt jasných částí svítidel v zorném poli při pohledu z obytných místností do venkovního prostředí.
- Prahový přírůstek TI (%) – Udává oslnění od světelných zdrojů a svítidel v daném směru pozorování a polohy pozorovatele.
- Účinnost osvětlovací soustavy do horního poloprostoru ULR (%) – Určuje množství světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru
- Jas povrchu fasád L_b (cd/m²) a reklamních ploch L_s (cd/m²) – Udává množství rušivého jasu vytvořené architekturním nebo reklamním osvětlením. [7]

Zóna životního prostředí	Světlo na objektech		Svítivost svítidla		Podíl horního toku	Jas	
	E_v		I		ULR	L_b	L_s
	lx		cd		%	cd·m ⁻²	cd·m ⁻²
	mimo dobu nočního klidu ^{a)}	v době nočního klidu	mimo dobu nočního klidu	v době nočního klidu		fasády	znaky ^{NP2)}
E1	2	0	2 500	0	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	5	5	400
E3	10	2	10 000	1 000	15	10	800
E4	25	5	25 000	2 500	25	25	1 000

^{a)} V případě, kdy se neuplatňuje noční omezení, nesmí být větší hodnoty překročeny a mají se upřednostnit menší hodnoty.

Obrázek 16 - Rozdělení oblastí a jejich hodnoty maximální hodnoty rušivého světla [6]

E1- velmi tmavé oblasti jako národní parky a chráněná území

E2 -málo světlé oblasti jako průmyslové a obytné venkovské

E3 - středně světlé oblasti jako průmyslové a obytná předměstí

E4 - velmi světlé oblasti, centra měst a obchodní zóny

3.3. Světelné zdroje pro osvětlovací soustavy VO

Světelný zdroj je základním technickým prostředkem, který ovlivňuje energetickou náročnost a vlastnosti osvětlovacích soustav.

Světelným zdrojem nazýváme takové těleso, které svým povrchem vyzařuje světlo, jež vzniklo v něm samém přeměnou energie. V osvětlovacích soustavách se využívají umělé zdroje. Mezi umělé zdroje patří louče, svíčky, žárovky, výbojky, světelné diody a další. Slouží jako náhrada za přírodní zdroj, kterým považujeme slunce, v jistých případech jimi mohou být i měsíc či blesk. Dalším dělením světelných zdrojů je podle principu vzniku světla. Patří zde zdroje teplotní (žárovky), výbojové (zářivky, výbojky) a elektroluminiscenční (světelné diody).

Pro porovnání jednotlivých světelných zdrojů je sepsán soubor ukazatelů, které všestranně charakterizují jejich vlastnosti. Tyto parametry (ukazatele) dělíme na technické (kvalitativní) a provozní (kvantitativní). Do technických parametrů řadíme jejich konstrukční provedení, elektrické a světelně-technické parametry a životnost světelného zdroje. U provozních parametrů posuzujeme jejich účinnost, měrný výkon, spolehlivost, kompatibilitu ve spolupráci se zařízením a ekonomičnost. Neméně důležitými

vlastnostmi jsou i rozměry, tvar, hmotnost, distribuce, možnost úpravy světelného toku a v neposlední řadě i pořizovací a provozní náklady. [7] [8]

3.3.1. Halogenové žárovky

Používáme zejména při architektonickém osvětlování objektů, průmyslových a hospodářských prostranství a v systémech bezpečnostního osvětlení ve spojitosti s pohybovými čidly. Výhodou halogenových žárovek je příjemné bílé světlo s vyšší teplotou chromatičnosti, dobrá stabilita světelného toku, úbytek světla během doby života nepřesáhne 5% počáteční hodnoty, využití interferenčních vrstev pro zlepšení energetické bilance. Hlavními nevýhodami halogenových žárovek je náročná technologická výroba u žárovek s malým příkonem, vysoká cena, značná závislost světelného toku na napájení, omezení stmívání (Zánik halogenového cyklu – tmavnutí žárovky) [7] [8]

3.3.2. Kompaktní zářivky

Kompaktní zářivky lze použít pro osvětlování pěších zón a vnitrobloků, ale jejich použití není příliš velké díky jejich teplotní závislosti a jejich příliš velké činné plochy vůči vydávanému světelnému toku. Výhodami kompaktních zářivek je vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou (téměř 80% s použitím elektrického předřadníku), velké podání barev převyšující 80, dlouhá životnost, vysokofrekvenční režim (potlačení stroboskopického efektu a rychlý náběh přibližně do jedné sekundy). Mezi další nevýhody můžeme zařadit závislost světelných parametrů na okolní teplotě, četnost spínání má zásadní vliv na životnosti světelného zdroje, obsah toxické rtuti. [7] [8]

3.3.3. Lineární zářivky

Klasickým problémem, jak u kompaktních zářivek, je jejich teplotní závislost. Lineární zářivky se už vyskytují pouze zřídka na osvětlování méně důležitých míst a komunikací obcí v provedení do chladu. Tyto zářivky předcházejí nečinnost zářivek, ale přesto se hodí k osvětlování zejména venkovních nákladových ramp, krytých nástupišť a zastávek MHD. [8]

3.3.4. Vysokotlaké halogenidové výbojky

Díky vysokému podání barev a vysokému měrnému výkonu jsou vysokotlaké halogenidové výbojky vhodné pro osvětlování venkovních prostor a komunikací. Využívají se zejména v centrech měst a v místech, kde je žádoucí odlišit barevně kritický úsek komunikace a na přechodech pro chodce. Dalšími výhodami halogenidových výbojek je široké množství úpravy spektrálního složení vyzařovaného světla (široký výběr svíticích prvků a sloučenin), dlouhá životnost, kompaktní světelný zdroj s velkým příkonem (vyšší úspora materiálu s vyšší účinností). Hlavními nevýhodami je velká technologická náročnost, která vede k vyšší pořizovací ceně, velká závislost parametrů výbojek na kolísání napětí, velký rozptyl teploty chromatičnosti v rozmezí ± 600 K. [7] [8]

3.3.5. Vysokotlaké sodíkové výbojky

Používají se zejména díky vysoké účinnosti, která vede k významným úsporám elektrické energie. Vysokotlaké sodíkové výbojky se dají uplatnit ve všech oblastech veřejného a venkovního osvětlení. Jedinou vadou těchto zdrojů může být barva vyzařovaného světla a tedy nízká hodnota podání barev, která způsobuje horší rozlišitelnost barev osvětlovaných objektů a předmětů. V České republice mají stále velké zastoupení, ale s příchodem a rozvojem polovodičových světelných zdrojů jsou vysokotlaké sodíkové výbojky jimi nahrazovány. [8]

3.3.6. Nízkotlaké sodíkové výbojky

Základními nevýhodami nízkotlakých sodíkových výbojek je jejich monochromatické vyzařování a rychlý úbytek světelného toku. Lze tedy využít ve veřejném osvětlení, ale jejich návrh je velmi obtížný. Poněvadž jak u zářivek závisí jejich velikost vyzářeného světelného toku na velikosti činné plochy. Tento problém vede k obtížné výrobě svítidla, které by odpovídalo požadavkům pro osvětlování na úzkých a dlouhých cestách. Největším zastoupením mají v zemích Beneluxu a Velké Británie, ale také zde se přechází na vysokotlaké sodíkové výbojky nebo polovodičové světelné zdroje. Hlavními výhodami nízkotlakých sodíkových výbojek je dlouhá životnost s velmi dobrou stabilitou světelného toku, účinnost není teplotně závislá na okolní teplotě, dobré světelné podmínky i za snížené viditelnosti způsobené mlhou. [7] [8]

3.3.7. Světelné diody

Světelné diody se ve venkovním osvětlení používá k osvětlování komunikací, pěších zón, součástí osvětlovacích soustav v tunelech, architekturních osvětlování budov a jiných objektů. Skrývají v sobě mnoho výhod. Přinášejí významné energetické úspory, jsou vysoce spolehlivé, zásadní snížení rušivého světla, dlouhá životnost, lze získat velké množství barev (využití luminoforu). Světelné diody pracují v širokém rozsahu teplot (-30 až +60 °C), které zásadně ovlivňuje délku jejich života. Měrný výkon svítidel je závislý na působení předřadných a optických zařízení svítidla. Tento výkon se v současnosti pohybuje v rozmezí 50 až 100 lm/W. [7] [8]

3.3.8. Volba světelného zdroje pro VO

Správná volba světelného zdroje zásadně ovlivňuje spotřebu elektrické energie osvětlovací soustavy. Při výběru hlavně sledujeme měrný výkon, životnost, index podání barev, možnost stmívání a v neposlední řadě rozměry světelného zdroje. Pro dosažení snížení provozních a údržbových nákladů patří řada racionalizačních opatření. [6]

K těmto opatřením patří:

- Použití kvalitního světelného zdroje
- Použití (nebo výměna za nová) svítidel s vyšší účinnosti a kvalitními předřadníky
- Skupinová obnova světelných zdrojů
- Dimenzování osvětlení podle zatřídění (Komunikace, chodníky, reklamy, slavnostní osvětlení atd.)
- Noční údržba a omezení svícení během dne a další.

3.4. Svítidla osvětlovacích soustav VO

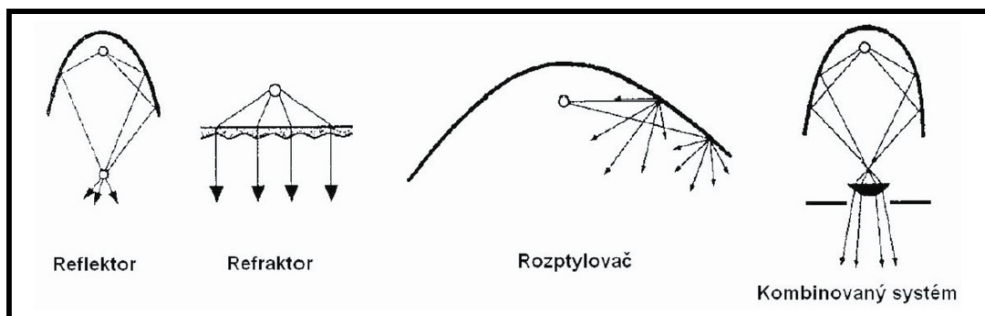
Svítidla jsou zařízení, které rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované světelnými zdroji. Jedná se o soubor částí nutných pro upevnění a ochranu světelných zdrojů. Obsahují také případné pomocné obvody pro připojení k síti. Svítidla se skládají ze tří částí: světelně činné části (optika), elektrotechnické části a konstrukční části. [6]

3.4.1. Světelně činné části

Světelně činné části se využívají k rozložení, usměrnění, rozptýlení, omezení a filtrace světelného toku zdrojů. Účinnost svítidla závisí na kvalitě daného optického systému.

U světelně činných částí rozlišujeme:

- **Reflektor** - je zhotoven ze slitiny hliníku se zrcadlovou povrchovou úpravou sloužící pro rozložení světelného toku, převážně zrcadlovými odrazy.
- **Refraktor** – obsahuje skleněné (plastové) propustné části svítidla, které upravují změnu rozložení světelného toku podle zákona lomu.
- **Difuzor (Rozptylovač)** - rozptyluje světelný tok odrazem nebo prostupem a vytváří tak rovnoměrně rozptýlenou plochu světelného toku vyzářeného světelným zdrojem.



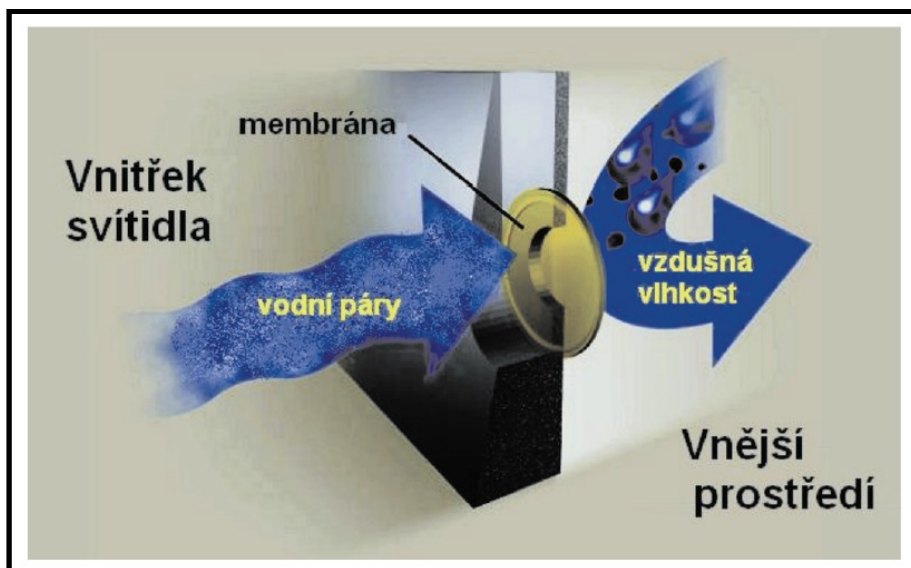
Obrázek 17 - Světelně činné části [7]

3.4.2. Elektrotechnické části

Elektrotechnické části jsou nedílnou součástí každého svítidla. Jedná se o soubor vodičů, objímek, uzemnění, předradných zařízení, zapalovacích cívek a transformátorů zajišťující přívod elektrické energie a správný provoz světelných zdrojů.

3.4.3. Konstrukční části

Konstrukční části slouží k upevnění a ochraně (před vnikem cizích předmětů a vody) světelně činných částí a zdrojů. Musí být splněna podmínka jednoduché a snadné montáže, údržby, dlouhé životnosti a spolehlivosti a z teplotního hlediska nesmí být nebezpečné pro své okolí. Kvalitní návrh mechanických prvků osvětlovací soustavy by měl obsahovat vysoké krytí IP pro celé svítidlo, systém obsahující membránu umožňující výstup vodních par ven ze svítidla (Obr. 18), možnost změny nastavení svítidla a refraktoru. Minimálním krytím je požadováno IP33, ale podle podmínek provozu a údržby, může být požadováno toto krytí i s vyšším stupněm. [7] [6]



Obrázek 18 - Funkce jednostranné propustné membrány [6]

3.5. Základní předpisy pro osvětlovací soustavy VO

Pro správné dimenzování světelných soustav musíme při návrhu dodržet několik následujících požadavků.

Třídy vnějších vlivů pro okolní teplotu a klimatické podmínky závislých na místních podmínkách.

Okolní teplota, klimatické podmínky, přítomnost vody, přítomnost cizích předmětů.

Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Chránění živých částí izolací, zábranou nebo krytem, které zabrání úmyslnému nebo neúmyslnému dotyku živé části. Přístup k živým částem musí být uzamčen a umístěn minimálně 2,5 m nad úrovní terénu.

Dále je zapotřebí ochrana při manipulaci u otevřených dvířek. Tato ochrana je provedena zejména umístěním zábrany nebo použitím zařízení se stupněm ochrany krytem minimálně IP2x.

Svítidla s minimální výškou 2,8 m musí být zabezpečena tak, aby přístup ke svítidlu byl možný pouze po odstranění zábrany nebo uzavření vyžadující použití nářadí.

Při chránění se nesmí používat ochrana nevodivým okolím a ochrana neuzemněným místním pospojováním. V místech, kde není zemnicí odpor dostatečně malý, lze použít i proudový chránič se jmenovitým vybavovacím proudem vyšším než 30 mA nebo zařízení třídy ochrany II (s dvojitou izolací). Nevýhodou proudového chrániče může být jeho použití na začátku obvodu venkovního osvětlení. V případě poruchy jednoho osvětlovacího zařízení způsobí odpojení celé osvětlovací soustavy. [7]

3.6. Ovládání a řízení osvětlovací soustavy VO

3.6.1. Ovládání VO

Ovládání VO se skládá ze spínání, řízení a monitoringu. Základní částí je spínání, bez kterého se neobejde žádná osvětlovací soustava. Jednoduché systémy používají pouze spínání ZAP/VYP. Toto jednoduché provedení může být provedeno za pomoci signálu HDO. Vyspělejší systémy pro svoji funkci,

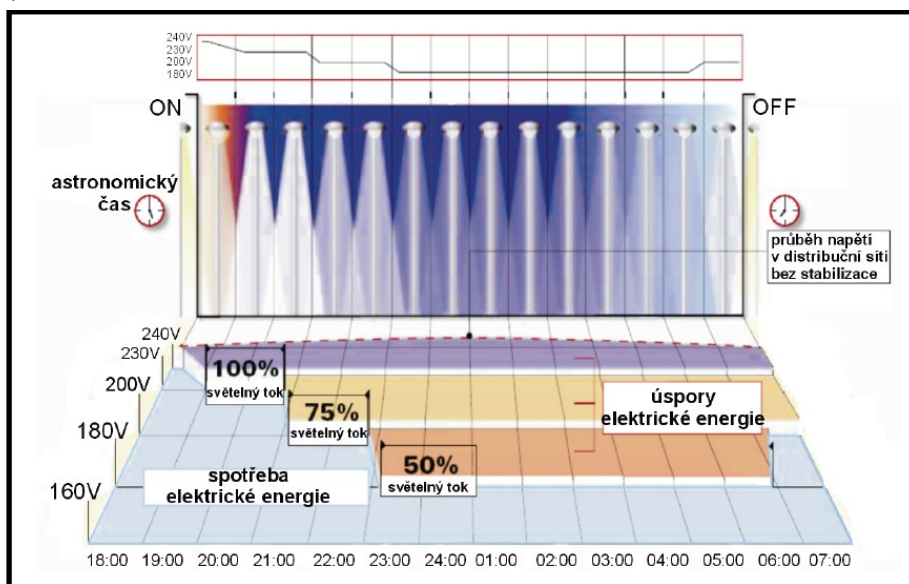
využívají sběr dat. Využívají informace z dohledových systémů, sledování spotřeby elektrické energie a aktuálních provozních stavů atd.

Spínání může být provedeno dvěma způsoby. Prvním způsobem je použití časového spínání (Astronomické hodiny). Spínání vychází ze známých časů východu a západu slunce během roku v daném místě VO. Druhým způsobem je použití spínání podle světelných podmínek (Fotobuňky). Využívají se zde fotobuňky, které monitorují úroveň denního světla. Pro správnou funkci je potřeba fotobuňky pravidelně čistit a monitorovat. Využívá se i kombinace těchto dvou spínání, kdy dochází k záloze fotobuňky v případě selhání. Používá se to zejména z bezpečnostních důvodů a převážně na místech pro osvětlování přechodů pro chodce.

Ovládání osvětlovacích soustav se volí podle hloubky ovládání. U minimální hloubky je ovládaná celá osvětlovací soustava (tzv. centrální ovládání - Dispečink). Střední hloubka představuje úroveň zapínacích míst (Lokální ovládání) a maximální představuje úroveň jednotlivých světelných míst (Individuální ovládání). Při individuálním ovládání jsou spínací prvky implementovány přímo do svítidel (Využití u svítidel bez dosahu na síť). [9]

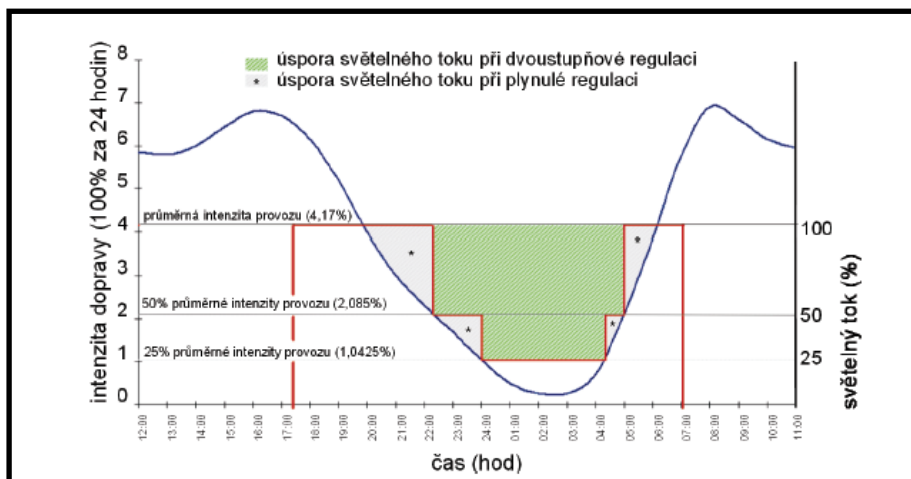
3.6.2. Řízení VO

Řízením VO slouží k dosažení významných úspor elektrické energie, omezení rušivého světla, lepší ovládání, správu a údržbu VO, v souladu s normou ČSN EN 13201 -1. Hlavní roli zde hraje adaptivní osvětlení, kdy míra osvětlení se v průběhu celé doby provozu mění a přizpůsobuje se aktuálním požadavkům. Zásadním požadavkem je zachování rovnoměrného osvětlení. Změny hladiny osvětlení musí být podloženy analýzou průměrné intenzity provozu na komunikaci nebo změn jasu okolí v průběhu noci. Maximální hodnoty snížení hladiny osvětlení odpovídá třídě osvětlení a musí být schváleno příslušným silničním správním úřadem. Regulace osvětlení není doporučena v oblastech s výskytem kriminality nebo nehodovosti v průběhu noci. [9]



Obrázek 19 - Regulace příkonu osvětlovací soustavy [6]

Řízení VO můžeme rozdělit na řízení režimové a dynamické. Režimové řízení vychází ze statistických údajů a zkušeností při sledování reálného provozu. Řízení tedy probíhá podle předem vytvořených časových režimů. Zatímco dynamické řízení vychází z monitorování změn reálných parametrů. Ke správné funkci se používají snímače pohybu, fotobuňky, snímače vlhkosti nebo kamerové systémy. Získávají informace o intenzitě dopravy, jasnosti okolí, klimatických podmínkách a přítomnosti účastníků dopravy. Využití zejména na pozemních komunikacích s velkou intenzitou dopravy a centrech měst. [9]



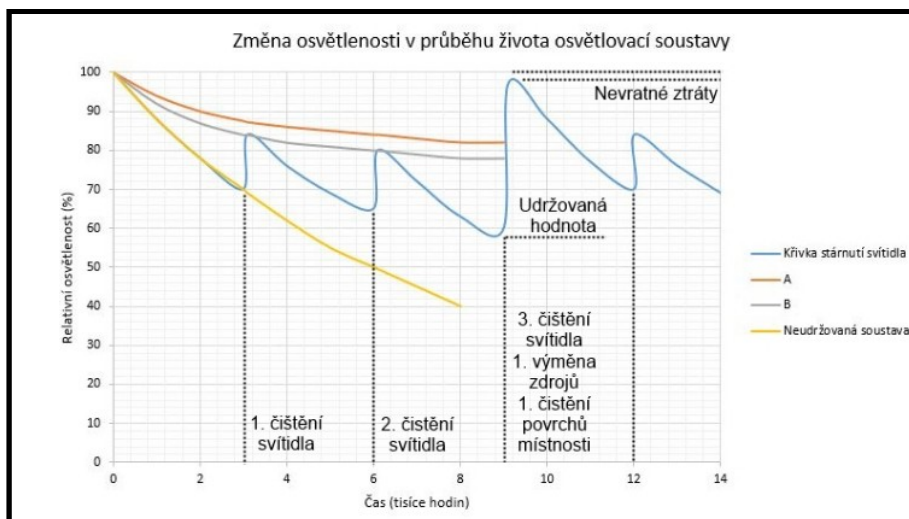
Obrázek 20 - Regulace osvětlovací soustavy v závislosti na intenzitě provozu [6]

3.6.3. Monitoring VO

Monitoring slouží k vyhodnocování provozních stavů osvětlovací soustavy. Oproti dynamickému řízení nezískává informace o parametrech osvětlovaného prostředí, ale informace o osvětlovací soustavě. Základním přínosem je sledování spotřeby elektrické energie, o poruchách v osvětlovací soustavě (Předradník, svítidlo, napájení atd.) i o aktuálním provozním stavu (Zapnuto, vypnuto, úroveň řízení). [9]

3.7. Změny osvětlovací soustavy

Každé zařízení v průběhu svého života dochází k určitým změnám. Tyto změny mohou být trvalého rázu nebo jen dočasného. Dočasné změny mohou být způsobené znečištěním, které lze velmi rychle vyřešit a navrátit zařízení do téměř původního stavu. Použité materiály na odrazné plochy, difuzory podléhají degradaci v průběhu jejich života. Tyto postupné změny parametrů vyjadřujeme činitelem údržby, pro svítidla a světelné zdroje, pak činitelem stárnutí (nezvratné změny) a znečištění (změny převážně vratné). [6]



Obrázek 21 - Plán údržby s intervaly čištění

3.7.1. Činitel stárnutí a znečištění svítidla

Jedná se o číselné vyjádření znehodnocení určitých vlastností svítidla. Velikost dané hodnoty je závislé na čase. Ze začátku je tento nárůst strmější a postupem času se křivka zplošťuje. Je to způsobené prvotním znečištěním, které má zásadní vliv na první změny parametrů. Dalšími parametry, kterými ovlivňuje danou hodnotu je prostředí, ve kterém se svítidlo nachází, použité materiály a konstrukční provedení. Zásadně tuto hodnotu můžeme ovlivnit vhodným výběrem míry krytí svítidla. Čím zvolíme vyšší stupeň krytí, tím bude svítidlo odolnější vůči nečistotám a nepřízní okolních vlivů. Nežádoucím jevem při vysokých hodnotách krytí je jejich přílišná těsnost. U takových svítidel může docházet vlivem údržby vniknutí vlhkosti dovnitř svítidla, a tím ke kondenzaci na vnitřní straně optických povrchů a snížení účinnosti svítidla. Řešením, v takových situacích, je použití jednostranně prostupné membrány, která dokáže danou vlhkost ze svítidla odvést ven. [6]

3.7.2. Činitel stárnutí a znečištění světelných zdrojů

Tento činitel vyjadřuje, jak se sníží světelný tok vyzařovaný světelným zdrojem během času. Ke změně parametru dochází na základě fyzikálně chemických změn během provozu zařízení. Orientační hodnoty činitele stárnutí pro jednotlivé světelné zdroje jsou dány výrobcem a také jsou zapsány v národním dodatku. [6]

3.8. Údržba osvětlovací soustavy VO

3.8.1. Běžná údržba

Běžná údržba je prováděná při mimořádných poruchových stavech, které vyvolají narušení provozu nebo výpadek části světelných míst. Jedná se o neplánovanou činnost a musíme tak reagovat na bezodkladná hlášení o poruše světelného zařízení. Běžná údržba neslouží pro zlepšení technického stavu zařízení, ale pouze na odstranění poruchového stavu nebo úkon pro operativní zprovoznění nefunkční části zařízení VO. Obsahem je udržení soustavy VO v pravidelném provozu (podle smluvně dohodnuté úrovně), odstraňování poruch na kabelovém rozvodu, opravy výpadků světelných míst zjištěné při noční kontrolní

činnosti nebo nahlášením jinou osobou, seřizování časových spínačů v souladu s nočním provozním kalendářem, čtvrtletní odečty elektroměrů, namátková činnost pracovníků údržby (získává informace o poškozeních, zvláštních stavech na zařízeních a případné nepovolené používání stožárů apod.) [6]

3.8.2. Preventivní údržba

Dobře naplánovaná preventivní údržba zajistí dlouhou dobu života zařízení, nižší finanční prostředky na běžnou údržbu, zlepšení účinnosti osvětlovacích soustav a tím i hospodárnější provoz. Zajišťují se tak preventivní prohlídky, které mají za úkol předcházet poruchovým stavům nebo je, alespoň omezit na co nejnížší možnou míru. Pro dosažení co nejdelší životnosti celého zařízení, je potřeba průběžně ošetřovat a obnovovat jednotlivé skladební prvky, a tím ovlivnit i jejich hospodárný a spolehlivý provoz. Rovnoměrnost nákladů na údržbu, by měl každý stavební prvek zařízení VO procházet určitým periodickým cyklem k provedení údržby nebo rovnou k jeho výměně. Proto je potřeba vytvořit plán pro preventivní údržbu, který by měl obsahovat přehledné mapy s rozložením územím se zařízení VO, vytvoření územních částí pro zavedení plošné preventivní údržby, rekonstrukcí apod. Obnova celého zařízení VO by se měla provádět minimálně jednou za 30 – 32 let. [6]

3.8.3. Odstraňování následků škod a vandalismu

Jedná se o další větší skupinu příčin poruch zařízení, kdy je potřeba zásah pracovníka. Tyto škody mohou být způsobené vandalismem, dopravními nehodami a ostatními stavebními činnostmi. Může se jednat o rozbité difuzory svítidel, odcizení plastové patice osvětlovacího stožáru, zničení patice stožáru a její deformace v důsledku dopravních nehod, které mohou vést k rozlomení a pádu svítidla. Všechny tyto vady mohou ohrozit správnou funkci zařízení, ale také zapříčinit zranění nebo dokonce usmrcení člověka. Proto je potřeba pravidelná kontrola ve vytipovaných kritických oblastech měst a komunikací. [6]

4. Chování předřadných přístrojů LED osvětlovacích soustav v různých režimech provozu

Předřadné zařízení je elektrické zařízení, které je připojeno na vstup světelného zařízení. Slouží k zajištění odpovídajících vstupních parametrů elektrické energie pro daný světelný zdroj. Důležitou součástí pro správnou a spolehlivou funkci světelného zdroje během celé doby jeho života. Předřadná zařízení dělíme na elektromagnetické a elektronické předřadníky, elektronické transformátory, napáječe pro světelné diody, stmívače a další prvky, které zajišťují požadovaný provoz celé osvětlovací soustavy. [7]

Z konstrukčního hlediska lze předřadné zařízení rozdělit na elektromagnetická a elektronická. U elektromagnetických se pro omezení proudu používají pasivní prvky s činným odporem (rezistory) anebo s rektancí (tlumivky, kondenzátory, rozptylové transformátory). Tyto předřadné zařízení pak jsou provozována na kmitočtu 50 Hz (popř. 60 Hz). Elektromagnetické předřadníky se využívají pro výbojové zdroje. [7]

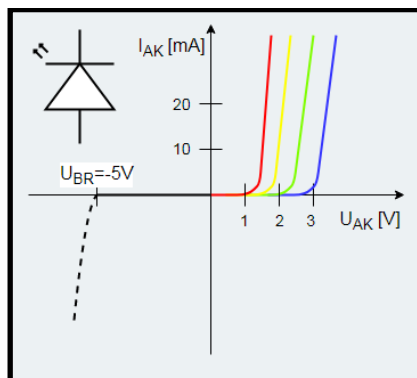
Elektronické předřadníky jsou konstrukčně zhotoveny z polovodičových součástek. Zajišťují provoz světelného zdroje při vysoké frekvenci. Hlavní předností je vyšší kvalita osvětlení, stabilizace světelně-technických parametrů v širokém rozsahu napájecího napětí, prodlužují jejich životnost. Vysoké frekvence eliminují stroboskopický jev, dále přispívají k úspoře elektrické energie, vyšší účinnosti zdrojů, k menším rozměrům a tím i nižší hmotnosti. Výhodou je jejich nehlukný provoz. Hlavní nevýhodou elektrických předřadníků je generování vyšších harmonických proudů. [7]

Tyto předřadné zařízení mohou být instalovány samostatně (vně svítidla), vestavné (uvnitř svítidla) a integrované (součástí svítidla, nelze je vyměnit zvlášť). Dále je můžeme dělit podle počtu světelných zdrojů. Uvažujeme předřadníky pro jeden světelný zdroj anebo pro dva a více zdrojů. Výhodou u předřadníků pro více světelných zdrojů je výhodnější cena a nižší ztráty energie v přepočtu na jeden světelný zdroj. [7]

4.1. Elektronické předřadníky pro světelné diody

U provozu světelných diod (LED) vycházíme z jejich VA charakteristiky (Obr. 22). V prvním kvadrantu je znázorněna část charakteristiky světelné diody v propustném stavu. Provozní oblast diody se nachází v lineární části charakteristiky a je omezena maximálním proudem LED čipu. [10]

Na vstup světelné diody je potřeba připojit stejnosměrné napětí takových parametrů, aby proud protékající čipem diody emitoval z P-N přechodu požadovaný světelný tok. Z toho vyplývá, že pro napájení světelných diod můžeme použít napěťový nebo proudový zdroj.

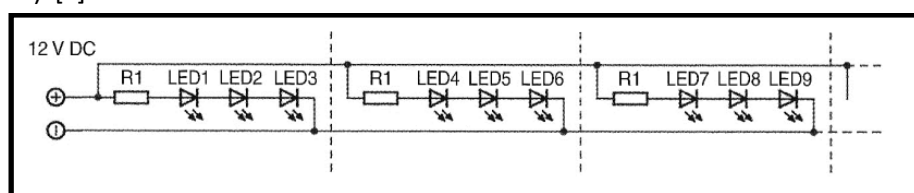


Obrázek 22 - VA charakteristika LED [10]

4.2. Napěťový zdroj pro světelné diody

Napěťový zdroj se využívají v jednoduchých zapojeních světelných diod v kombinaci s předřadným rezistorem, který slouží k omezení proudu diodou. Hodnota odporu předřadného rezistoru musí být pro každou barvu diody (díky různým úbytkům na diodách) i pro každou velikost napájecího napětí jiná. Hlavní nevýhodou napěťových zdrojů je, že při kolísání vstupního napětí se mění provozní proud LED a tím dochází i ke změně vyzařovaného světelného toku. Jelikož na rezistoru dochází k přeměně nepotřebné energie na teplo, je jejich účinnost malá. [7]

Tento typ zdroje se využívá u pevných nebo pružných lineárních modulů LED (LED pásy) napájených konstantním napětím, typicky 12 nebo 24 V. V těchto modulech se nacházejí diody zapojeny v sériově paralelním zapojení. Skupiny diod se společným předřadným rezistorem se zapojují paralelně k napájecímu napětí (Obr. 23). [7]



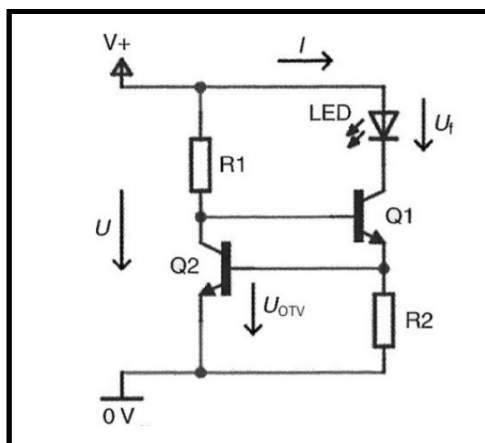
Obrázek 23 - Schematické zapojení napěťového zdroje LED [7]

4.3. Proudový zdroj pro světelné diody

Pro napájení světelných diod je tedy výhodnější zapojení s proudovým zdrojem. Tento zdroj dodává konstantní velikost výstupního proudu, který není závislý na úbytku napětí na diodě ani na velikosti napájecího napětí. Velikost výstupního proudu pro výkonové diody se pohybuje v rozmezí 350 mA až 750 mA. Při napájení soustavy LED proudovým zdrojem se zapojení provádí sériovým spojením a maximální množství sériově řazených LED je dáno podílem maximálního napětí zdroje a úbytkem napětí na jedné diodě (cca 4V). U proudových zdrojů je normou požadováno omezování maximálního výstupního napětí při otevřené napájecí smyčce. Dále musí všechny proudové zdroje splňovat požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu a bezpečnost. [7]

4.3.1. Popis funkce proudového zdroje

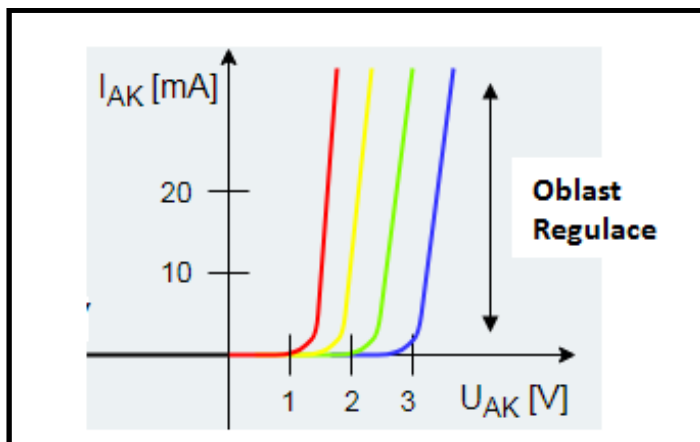
Na obrázku 24 se nachází jednoduché zapojení proudového zdroje pro napájení světelných diod. Principem je, že procházející proud sériovou kombinací LED, tranzistoru Q1 a rezistoru R2, vyvolá úbytek napětí na rezistoru R2 a ten otevře tranzistor Q2. Při vysoké hodnotě proudu dojde k většímu otevření tranzistoru Q2, a tím dojde k přivření tranzistoru Q1 a proud klesne. Pro otevření tranzistoru Q2 je potřeba přivést napětí o hodnotě 0,6 V. Ve schématu je toto napětí značeno U_{OTV}. Ustálená hodnota proudového zdroje je dána podílem napětí potřebného pro otevření tranzistoru Q2 a hodnoty rezistoru R2. Z toho je patrné, že hodnota výstupního proudu nezávisí na hodnotě napájecího napětí, ani na úbytku napětí diody. [7]



Obrázek 24 - Schematické zapojení proudového zdroje LED

4.4. Stmívání světelných diod

Princip stmívání světelných diod vychází z jejich VA charakteristiky (Obr. 25). Každá světelná dioda má určitou hodnotu napájecího napětí, do které nesvítí. Při překročení dané hodnoty a velmi strmé voltampérové charakteristice, vyvolá i menší změna napájecího napětí velkou změnu proudu, a tím i světelného toku. Úbytek napětí je také teplotně závislý a při narůstající teplotě se snižuje úbytek napětí. Při použití předřadného odporu a zvyšování teploty se bude zvyšovat i procházející proud. V podkladech pro diody je proto vždy přesně definován procházející proud a rozsah napájecího napětí. Proto je výhodnější řídit stmívání světelné diody pomocí proudového zdroje. [7]

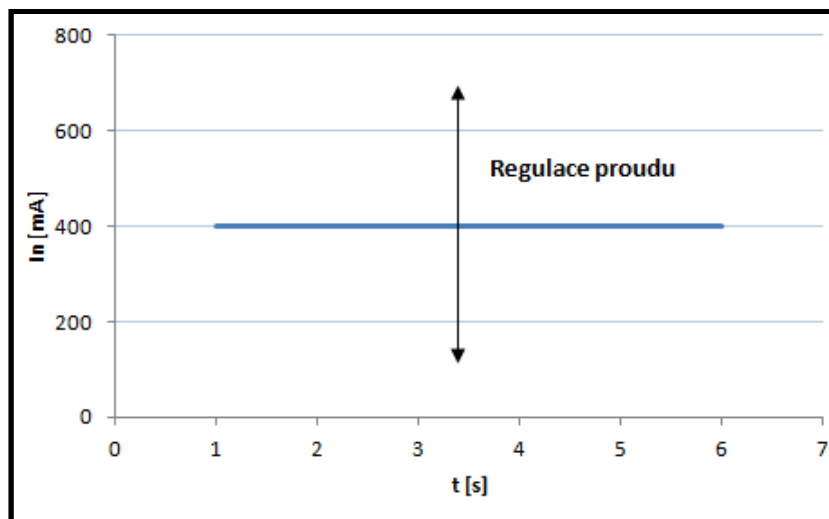


Obrázek 25 - VA charakteristiky různých barevných LED v propustném směru

Stmívání světelných diod lze řídit v jejich plném rozsahu 0 až 100%.

4.4.1. Stmívání pomocí proudového zdroje

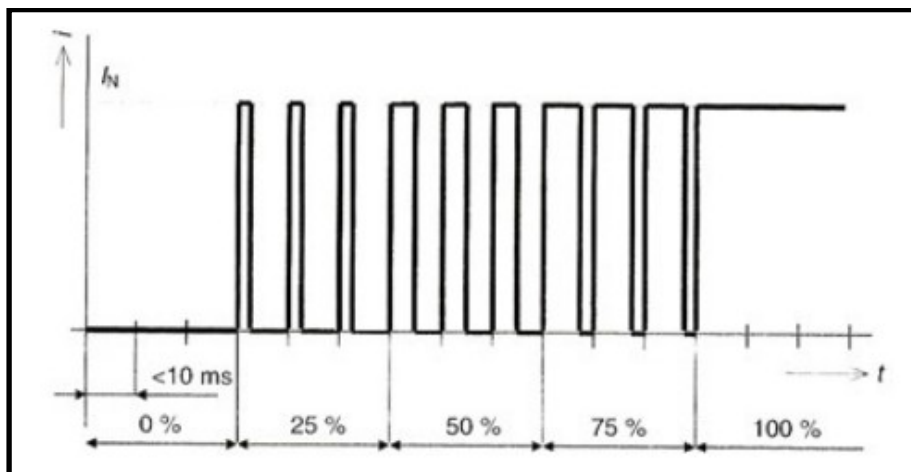
Stmívání je provedeno pomocí regulovatelného proudového zdroje. U takového zdroje dokážeme regulovat amplitudu výstupního proudu, a tím i regulovat světelný tok diody.[7]



Obrázek 26 - Průběh regulace proudovým zdrojem

4.4.2. Stmívání pomocí PWM

Pomocí pulsně šířkové modulační neboli PWM (Pulse width modulation) se reguluje doba, kdy LED svítí a kdy nesvítí. Využívá se tak setrvačnost lidského oka, které není schopné zaznamenat velmi krátké intervaly zhasnutí světelného zdroje. Aby dané intervaly, kdy světelný zdroj nesvítí, nezpůsobovaly pocit nepříjemného blikání, uvádí se, že doba zhasnutí nesmí být delší než 10 ms. To znamená, že kmitočet přerušování nesmí být menší než 100 Hz. Průběh proudu na světelné diodě při použití pulsně šířkové modulační je znázorněn na obr. 27. Jedná se o pulzní spínání obdélníkového průběhu proudu s plnou (I_N) a nulovou hodnotou proudu. Pokud na výstupu požadujeme poloviční hodnotu proudu (50%), tak bude polovina periody rovna nule a polovina bude rovna plnému proudu I_N . Poměrem těchto dob lze nastavit požadovanou hodnotu výstupního proudu. [7]



Obrázek 27 - Grafické znázornění průběhu PWM [7]

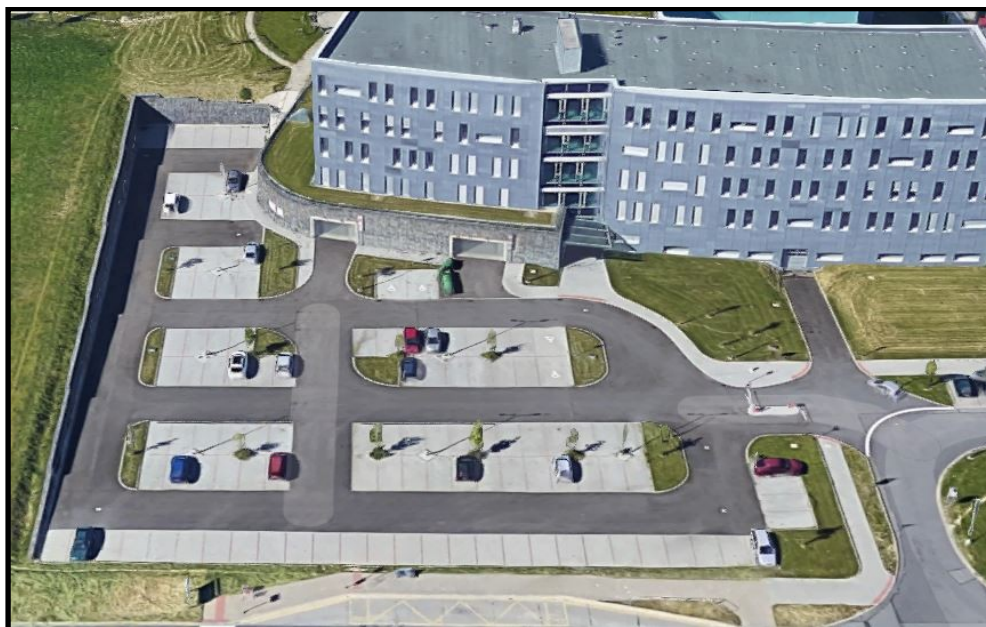
5. Zkušební polygonu veřejného osvětlení VŠB-TUO

Celým názvem Test polygon Broadband light je jedním z mnoha projektů, které vznikly na Vysoké škole Báňské – Technické univerzitě v Ostravě (VŠB-TUO). Tento projekt se zabývá analýzou a možnostmi potenciálu veřejného osvětlení pro začlenění do konceptu „SMART CITY“.

Testovací polygon VO se nachází u Fakulty Elektrotechniky a Informatiky (Dále jen FEI) směrem k Fakultní nemocnici Ostrava. Polygon osvětluje místní parkoviště pro zaměstnance fakulty s celkovou kapacitou 70 míst k parkování.

Na polygonu od jeho uvedení do provozu byly sloupy osazeny sodíkovými svítidly Thorn Riviera (Zastoupeny ve velkém množství po celé Ostravě). Během rekonstrukce v roce 2018 byly sodíkové svítidla Thorn nahrazeny moderními LED svítidly rozdílných typů. Nasazením moderních LED svítidel bude sloužit pro testování bezvláknové VLC (Visible Light Communication) komunikace, založené na zpracování viditelného světla pro přenos dat.

Jedná se o jeden z velmi moderních polygonů. Jednotlivé sloupy VO jsou osazeny SMART prvky. Kromě LED svítidel zde nalezneme i IP kamery, meteorologickou stanici, nabíjecí stanice pro elektromobily nebo amplián.



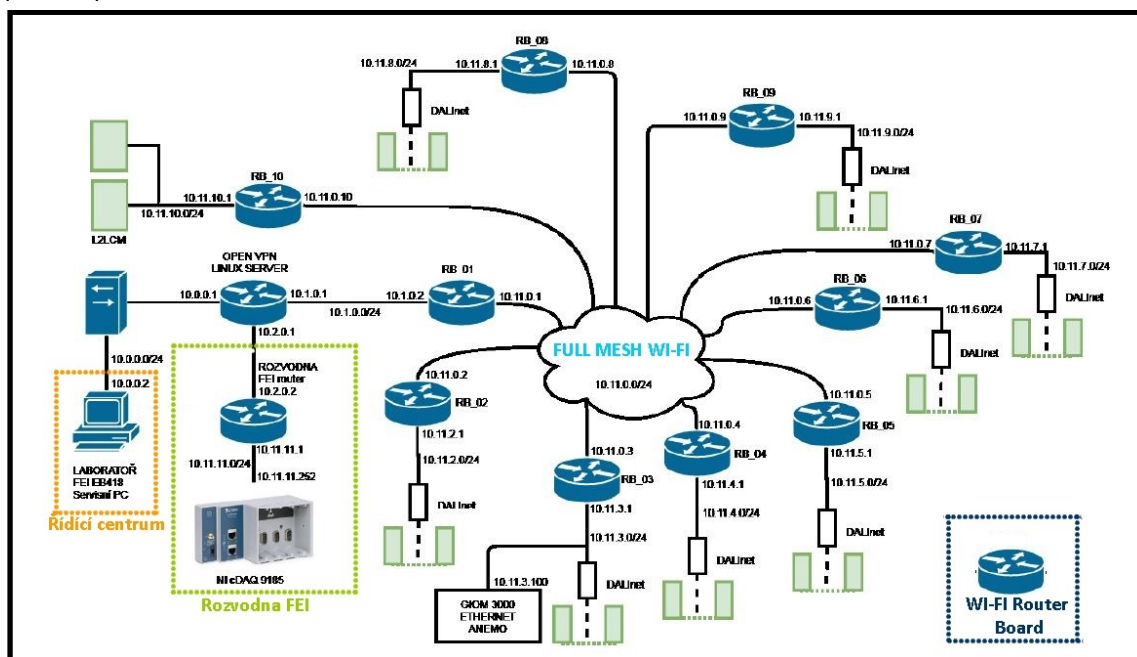
Obrázek 28 - Fotka polygonu VO VŠB-TUO

5.1. Topologie komunikační sítě polygonu VO

Pro řízení a získávání naměřených dat z polygonu je vytvořena komunikační síť. Komunikační síť je tvořena místní sítí VŠB-TUO FEI, do které je připojen zkušební polygon, řídicí centrum, rozvodna NN (+RH2) a server pro uložení a zpracování naměřených dat. Řídicí centrum, rozvodna a server se sítí komunikuje přes ETHERNETOVÉ rozhraní. Samotný polygon VO je se sítí propojen optickým kabelem.

Řízení polygonu VO je prováděno z řídicího centra umístěného v budově FEI. Řídicí centrum je vybaveno servisním PC, který využívá pro řízení polygonu webové rozhraní. Komunikace v rámci polygonu parkoviště VO je provedena tzv. FULL MESH WI-FI sítí, která je s řídicím centrem propojena ze sloupu č. 1 (Sloup, který se nachází nejbližší fakultě a je osazen svítidly L2LED) optickým kabelem. V místním rozvaděči každého

sloupu osvětlení se nachází WI-FI Router BOARD, který zajišťuje komunikaci jednotlivých sloupů se sloupem č. 1 (Obr. 29).



Obrázek 29 - Topologie komunikační sítě polygonu VO [11]

5.2. Technické provedení osvětlení polygonu

Na polygonu VO se nachází deset sloupů, které jsou osazeny kvalitními a moderními ledkovými svítidly čtyř výrobců. Nalezneme zde svítidla od společnosti BOOS, THORN, SCHREDER a L2LED. Svítidla L2LED byla navržena v součinnosti s VŠB a slouží jako vývojová svítidla pro testování nových funkcí.

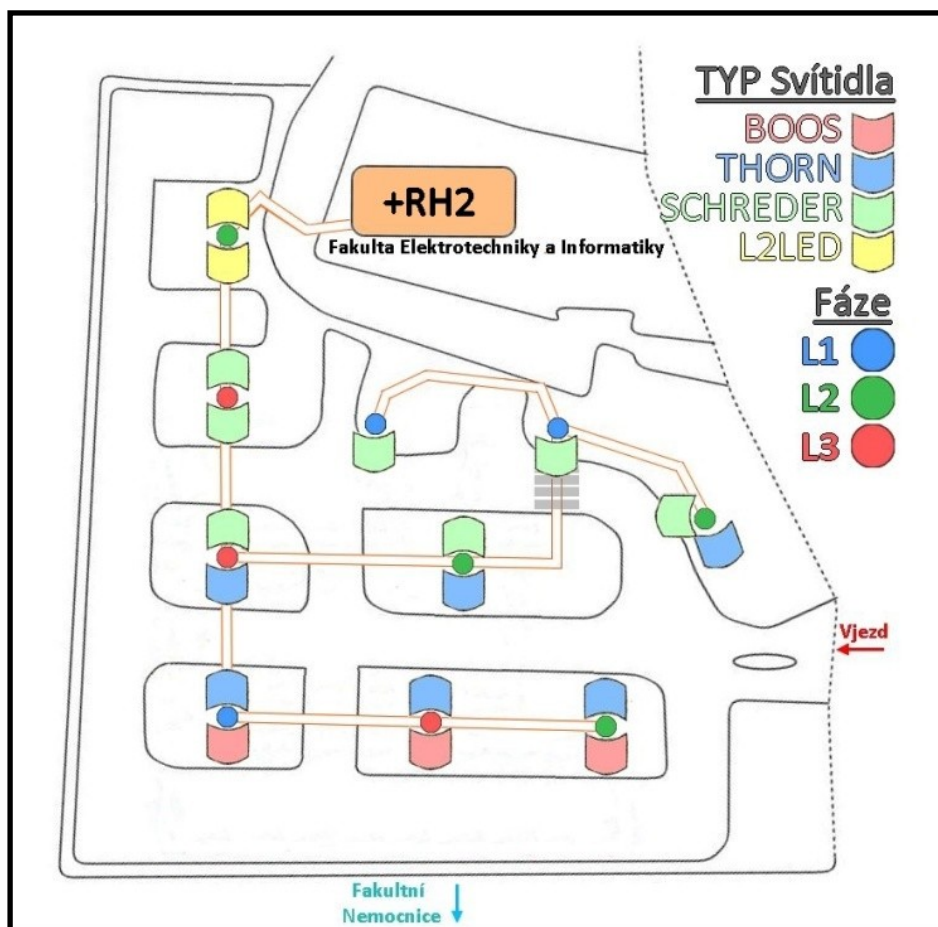
Svítidla jsou umístěna do skupinek podle výrobce a na místo, kde se nachází přechod pro chodce, který je osvětlený svítidly společnosti SCHREDER s typovým označením TECEO 2 5145 Zebra s vyšším světelným tokem viz tab. 1. Svítidla společnosti BOOS jsou konstruována jako jednostranná. Svítidla jsou také vybavena kompenzačními zařízeními, proto není potřeba daná svítidla kompenzovat dodatečně.

Tabulka 1 - Technické parametry svítidel polygonu VO

Výrobce	Typ	Počet (ks)	Tc (K)	Světelný tok (lm)	Rozhraní
BOOS	Naica Large	3	4000	22 000	DALI
THORN	R2L2 M 60L50	6	4000	12 425	DALI
SCHREDER	TECEO 2 5098	5	4000	17 920	DALI
SCHREDER	TECEO 2 5145 Zebra	2	4000	27 240	DALI
L2LED	L2LCM	2	3000	8 300	ETHERNET



Obrázek 30 - Svítidla společnosti BOOS, THORN a SCHREDER



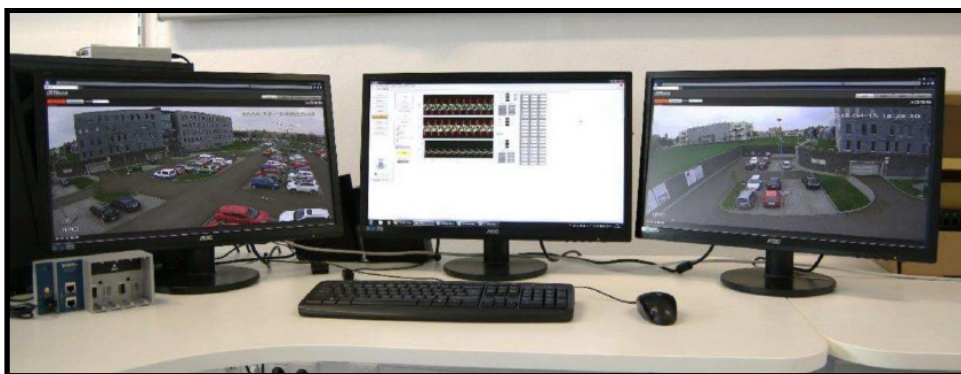
Obrázek 31 - Schematické znázornění zapojení svítidel polygonu VO

Všechna svítidla jsou osazena moderními stmívatelnými předřadnými systémy. Řízení osvětlení je zajištěno pomocí DALI nebo ETHERNETOVÉHO rozhraní. Každý sloup je vybaven převodníkem ETHERNET-DALI pro řízení LED osvětlení. Výjimku tvoří svítidla L2LED vyvinuta ve spolupráci s VŠB, která jsou řízena přímo ETHERNETOVÝM rozhraním.

5.3. Měřicí systém polygonu VO

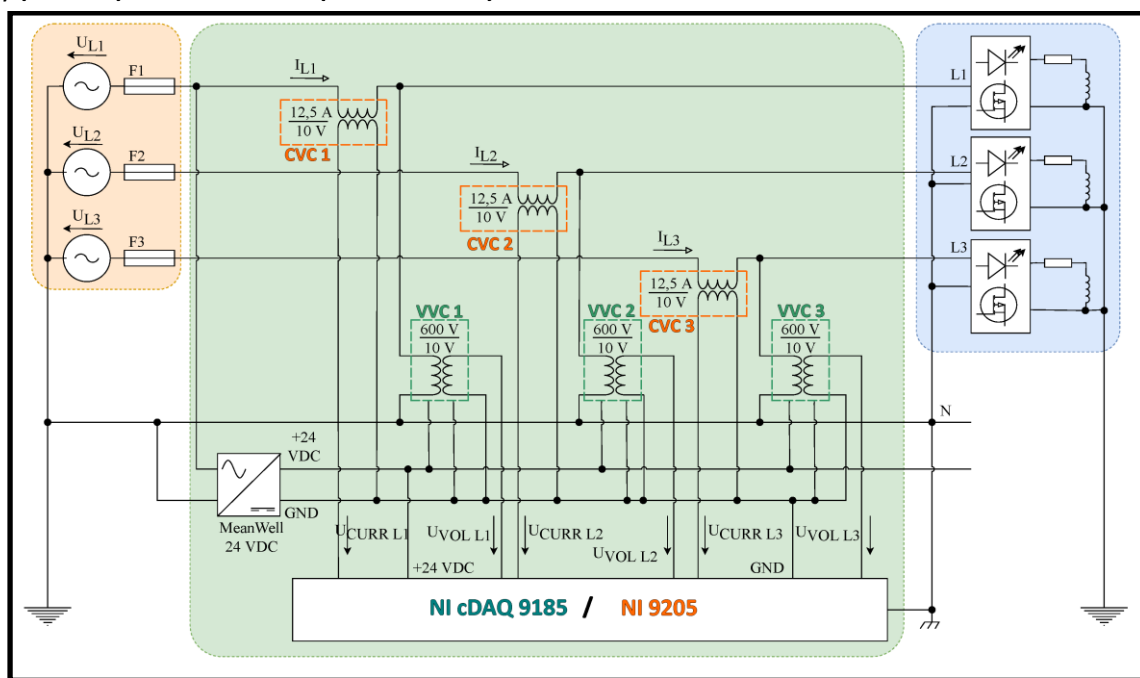
Měřicí systém polygonu VO se skládá z uzavřeného okruhu, který naměřená data z polygonu posílá na řídicí centrum, kde se naměřená data ukládají a zpracovávají na server. Server s naměřenými daty komunikuje se sítí pomocí MQTT protokolu (Message Queue Telemetry Transport). Jedná se o jednoduchý komunikační protokol, který propojuje komunikaci jednotlivých lamp, měřících karet a servisního PC

umístěného v řídicím centru. MQTT protokol využívá centrální bod, ve kterém se všechny získané informace zpracovávají. Tímto centrálním bodem komunikace MQTT je server.



Obrázek 32 - Pohled do řídicího centra [11]

Měřicí systém je tvořen kombinací měřicí techniky od společností NATIONAL INSTRUMENT a 32dev. Tento měřicí systém se nachází v rozvodně nízkého napětí (+RH2) v budově FEI, který napájí polygon VO. Měření a zpracování naměřených dat je prováděno v souladu s normami pro Kvalitu elektrické energie ve veřejných distribučních sítích ČSN EN 50160 a s normou Elektromagnetické kompatibility (ECM) ČSN EN 61000. Celý měřicí systém se skládá z napěťových převodníků (**VVC**), proudových převodníků (**CVC**), vstupní karty (**NI 9205**) a měřicího boxu (**NI cDAQ 9185**).



Obrázek 33 - Schematické zapojení polygonu VO a měřicího systému [11]

Napěťové (VVC) a proudové (CVC) převodníky jsou zapojeny ve všech třech fázích za transformátory s převodem 22 kV/230 V. Napájecí napětí pro převodníky je přivedeno pomocí spínaného zdroje MeanWell 24 VDC. Jeho výstupem je stejnosměrné napětí o hodnotě 24 V. Spínaný zdroj také slouží pro napájení měřicího boxu NI cDAQ 9185. Vývody z převodníku jsou provedeny stíněným vodičem, pro dostatečné odstínění silovým vodičům, které se nacházejí v jejich blízkosti.

5.3.1. Měřicí box NI cDAQ 9185

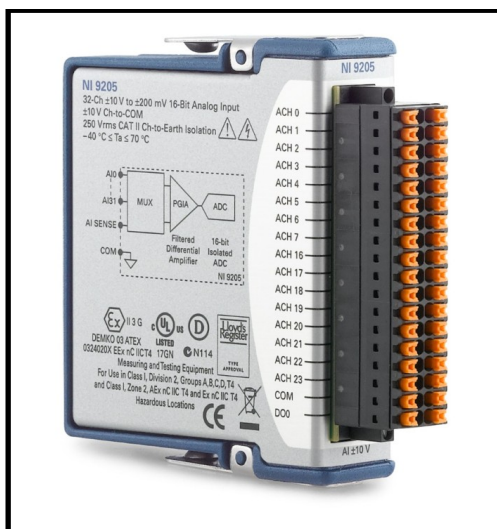
Měřicí box od společnosti NATIONAL INSTRUMENTS je vybaven čtyřmi sloty pro připojení vstupních měřících karet z řady C. Sloty jsou vybaveny i ethernetovým připojením. Úkolem měřicího boxu je řídit časování, synchronizaci a přenos dat mezi měřicími kartami a řídicím centrem. NI cDAQ je dále vybaven síťovým přepínačem a čtyřmi 32bitovými čítači/časovači. [12]



Obrázek 34 - Měřicí box NI cDAQ 9185

5.3.2. Vstupní měřicí karta NI 9205

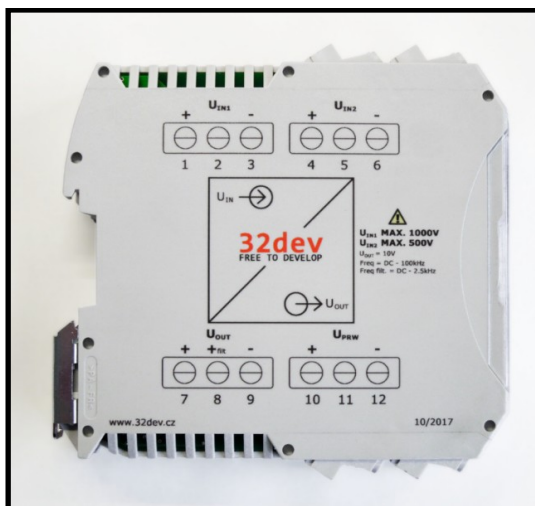
Jedná se o napěťovou vstupní kartu z řady C, která zpracovává hodnoty přivedené z napěťových a proudových převodníků. Vstupní rozsah karty je v rozmezí ± 10 V. Karta obsahuje 32 napěťových vstupních kanálů. Každý ze vstupních kanálů má rozlišení 16 bitů. Nejvyšší vzorkovací frekvence karty je 250 kS/s, která je rozdělena mezi jednotlivé připojené vstupy. Karta je schopna měřit analogové vstupy ve čtyřech programovatelných vstupních rozsazích a to $\pm 0,2$ V, ± 1 V, ± 5 V a ± 10 V. Karta je dále vybavena přepětovou ochrannou (± 30 V mezi kanálem a zemí) a dvojitou izolaci pro větší bezpečnost a odolnost měřicí karty proti rušení. [13]



Obrázek 35 - Měřicí karta NI 9205 [13]

5.3.3. Napěťové převodníky VVC-600-300

Napěťový převodník společnosti 32dev slouží k převodu vstupního napěťového signálu na požadovanou hodnotu výstupního signálu. Převodník má galvanicky oddělený vstup, výstup a napájení pro bezpečnější měření. Převodník 32dev poskytuje dva vstupní měřicí rozsahy 300V a 600V. Vstupy mají vysokou přetížitelnost až do 500V resp. 1 kV po neomezenou dobu bez porušení. Dalším specifikem měřicí karty je široký frekvenční rozsah (0 až 100 kHz), dobrá linearita v celém vstupním napěťovém rozsahu, široký rozsah vstupního napětí, nízká teplotní závislost a možnosti použití výstupního filtru s maximální frekvencí 2,5 kHz. Výstupem je pak napětí v rozmezí ± 10 V. [14]



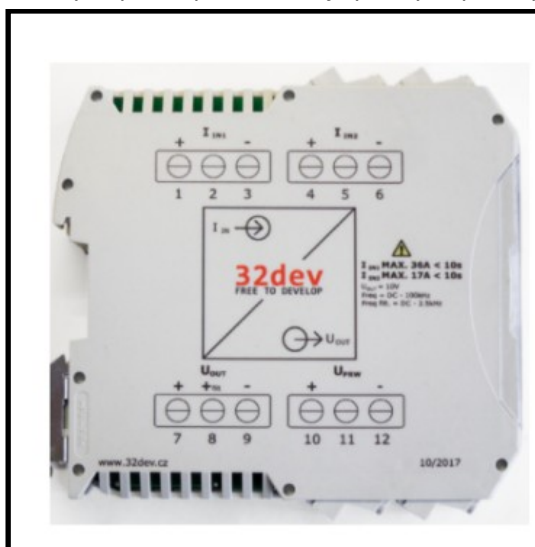
Obrázek 36 - Napěťový převodník VVC-600-300 [14]

Tabulka 2 - Technické parametry napěťového převodníku VVC-600-300

Vstupní parametry		
Rozsah	300 V	600 V
Měřicí rozsah	± 300 V	± 600 V
Maximální vstupní napětí	± 500 V	± 1000 V
Doba přetížení	Neomezeně	Neomezeně
Chyba měřené hodnoty	max. 1% z rozsahu	max. 1% z rozsahu
Vstupní odpor	50 kΩ	100 kΩ
Vstupní proud	max. 10 mA	max. 10 mA
Frekvenční rozsah	0 až 100 kHz	0 až 100 kHz
Výstupní parametry		
Výstupní napětí	± 10 V	
Maximální výstupní napětí	± 10,7 V	
Frekvenční rozsah	0 až 100 kHz	
Frekvenční rozsah s filtrem	0 až 2,5 kHz	
Napájecí parametry		
Rozsah napájecího napětí	18 - 36 V DC	
Maximální vstupní proud	110 mA (napájení 18 V DC)	
Vlastní spotřeba	2 W	
Ochrana proti přepětí	36 V	

5.3.4. Proudové převodníky CVC-25/12,5

Proudové převodníky jsou taktéž dodány společností 32dev a jejich úkolem je převést měřený vstupní proud na požadovaný výstupní napěťový signál. Pro bezpečnější měření je galvanicky oddělen vstup, výstup a napájení. Převodník CVC-25/12,5 poskytuje dva vstupní proudové rozsahy 12,5 a 25 A. Konstrukčně jsou převodníky schopné snést vysoké proudové přetížení až do 17 A resp. 36 A po maximální dobu 10 s bez poškození. Mezi výhody CVC-25/12,5 patří široký frekvenční rozsah (0 až 100 kHz), dobrá linearita v celém vstupním proudovém rozsahu, nízká teplotní závislost, malá vlastní spotřeba a možnost použití výstupního filtru s maximální frekvencí 2,5 kHz. Výstupem z převodníku je pak výstupní napětí v rozsahu ± 10 V. [15]



Obrázek 37 - Proudový převodník CVC-25/12,5 [15]

Tabulka 3 - Technické parametry proudového převodníku CVC-25/12,5

Vstupní parametry		
Rozsah	12,5	25
Měřicí rozsah	± 12,5 A	± 25 A
Maximální vstupní napětí	± 17 A	± 36 A
Doba přetížení	< 10 s	< 10 s
Chyba měřené hodnoty	max. 1% z rozsahu	max. 1% z rozsahu
Vstupní odpor	< 6 mΩ	< 3 mΩ
Frekvenční rozsah	0 až 100 kHz	0 až 100 kHz
Výstupní parametry		
Výstupní napětí	± 10 V	
Maximální výstupní napětí	± 10,7 V	
Frekvenční rozsah	0 až 100 kHz	
Frekvenční rozsah s filtrem	0 až 2,5 kHz	
Napájecí parametry		
Rozsah napájecího napětí	18 - 36 V DC	
Maximální vstupní proud	110 mA (napájení 18 V DC)	
Vlastní spotřeba	2 W	
Ochrana proti přepětí	36 V	

6. Sběr a analýza naměřených dat z polygonu VO VŠB-TUO

Měření a sběr dat probíhal na polygonu veřejného osvětlení VŠB-TUO. Tato data byla získávána v období od 12.4.2021 14:00 do 19.4.2021 14:00. Pro měření byly použité měřicí systémy polygonu VO. Během tohoto týdenního měření byly naměřeny desetiminutové RMS hodnoty, pro vyhodnocení průběžných a napěťových jevů podle normy ČSN EN 50160.

Dále při měření byly sledovány parametry pro porovnání odběru a spotřeby polygonu při různých provozních režimech. Týdenní měření proto bylo rozděleno do čtyř provozních režimů. Provozní doba jednotlivých režimů odpovídala vždy časovému období od 19:30 do 6:10, kdy byla osvětlovací soustava zapnuta. Mimo tohle období se testovací polygon nacházel v režimu, kdy osvětlovací soustava byla vypnutá, ale docházelo k stálému napájení smart prvků umístěných na polygonu Tzn., že polygon je pod napětím 24hod/7dní.

6.1. Zhodnocení podle normy ČSN EN 50160

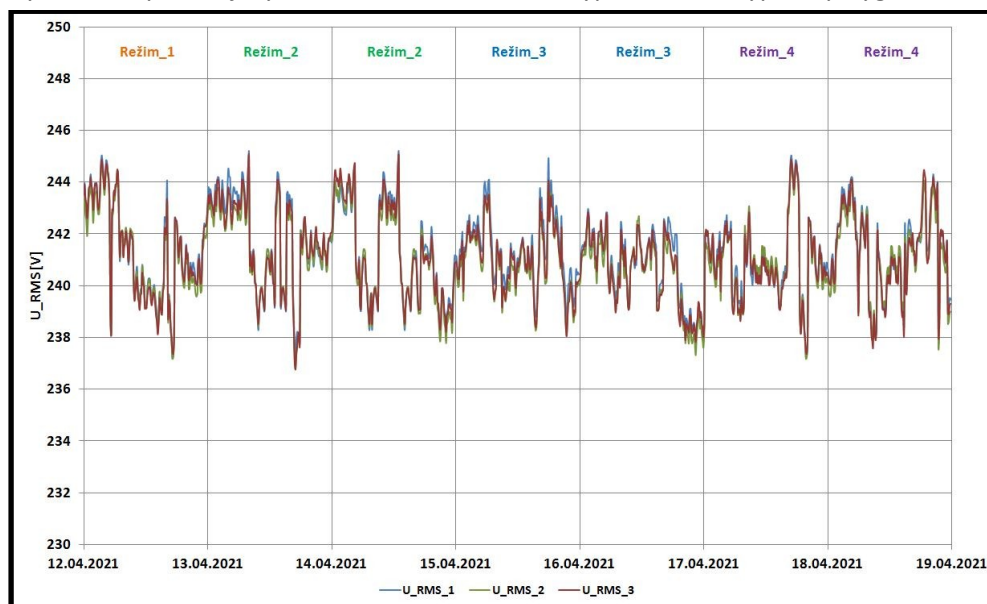
6.1.1. Rozbor napájecího napětí

Napájecí napětí polygonu se po dobu měření pohybovalo v limitech dané normou ČSN EN 50160. Během měření nedošlo k překročení vrchní ani spodní hranice $\pm 10\%$ během 95% z T, resp. $+10\%/-15\%$ během celé doby měření. Na první pohled je hodnota napětí vyšší než by se očekávala. Je to způsobené tím, že se polygon nachází v blízkosti transformátoru 22kV/230 V, na kterém je nastavena odbočka tak, aby limity napětí byly dodrženy i na vzdálenějším konci paprsku. Průměrná hodnota ve všech třech fázích se pohybovala okolo 241 V.

Tabulka 4 - Naměřené hodnoty napájecího napětí polygonu VO

Limity odchylek napájecího napětí dle normy ČSN EN 50160 jsou: 10 min RMS hodnot, 230 [V] -10%/+10% během 95% z T (min, max), 230 [V] -15%/+10% během 100% z T (min100, max 100), T=1 týden			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	OK
Interval měření 12.4.2021 - 19.4.2021			
U1 prům [V]		241,284	
U1 max100 [V]	253,000	245,140	Ano
U1 max [V]	253,000	244,017	Ano
U1 min [V]	207,000	239,152	Ano
U1 min100 [V]	195,500	236,195	Ano
U2 prům [V]		241,033	
U2 max100 [V]	253,000	244,725	Ano
U2 max [V]	253,000	243,787	Ano
U2 min [V]	207,000	239,038	Ano
U2 min100 [V]	195,500	236,752	Ano
U3 prům [V]		241,152	
U3 max100 [V]	253,000	245,017	Ano
U3 max [V]	253,000	244,018	Ano
U3 min [V]	207,000	239,053	Ano
U3 min100 [V]	195,500	236,778	Ano
Výsledek	VYHOVUJE		

Z průběhů napájecího napětí znázorněné na obr. 38 lze vidět, že polygon po celou dobu měření se nacházel pod napětím i při vypnuté osvětlovací soustavě. Jak už bylo napsáno, tak je to způsobené tím, že na polygonu se nachází smart prvky, které jsou trvale napájeny. Dále během týdenního měření nebyly zaznamenány žádné napěťové jevy a nedošlo tak k žádnému výpadku nebo vypnutí polygonu VO.



Obrázek 38 - Grafický průběh napájecího napětí polygonu VO

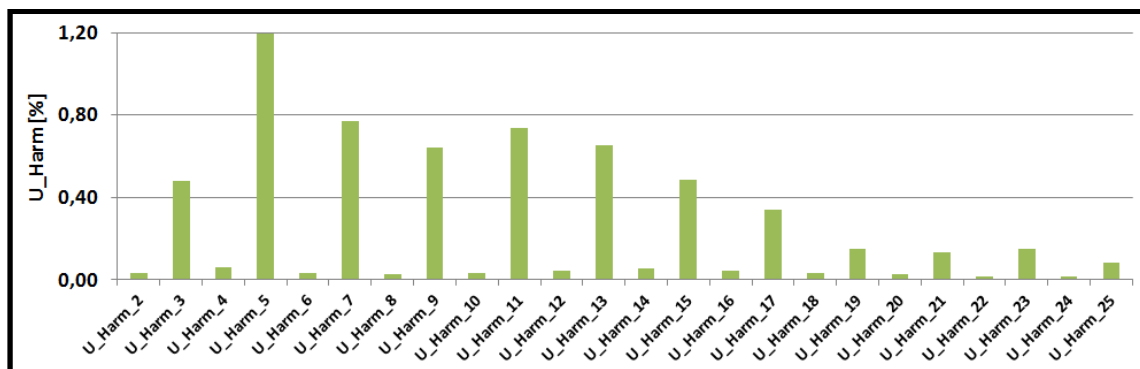
6.1.2. Rozbor harmonických napětí

Z hodnot v tabulce 5 můžeme potvrdit, že zvýšené hodnoty napájecího napětí není způsobené provozem samotné osvětlovací soustavy. Hodnoty během týdenního měření se pohybovaly pod hranicí 2%. Norma udává hranici 8% zahrnující harmonické do 40 řádu. Pro měření a vyhodnocování se uvažují hodnoty do 25 řádu. Norma pro vyšší řády harmonických limity neudává z důvodů, že hodnoty jsou malé a nedochází tak k výraznému ovlivnění celkového harmonického zkreslení.

Tabulka 5 - Naměřené hodnoty harmonického zkreslení napětí THDu

Limity úrovně harmonického napětí dle normy ČSN EN 50160 jsou:			
THD _U ≤ 8% zahrnující harmonické do 40 řádu			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	OK
Interval měření 12.4.2021 - 19.4.2021			
THD_U1 [%]	8	1,79	Ano
THD_U2 [%]	8	1,75	Ano
THD_U3 [%]	8	1,83	Ano
Výsledek	VYHOVUJE		

Při bližším prozkoumání jednotlivých řádů harmonických si lze všimnout, že hodnoty se drží pod přípustnými hranicemi dané normou. Z obr. 39 lze vidět, že liché harmonické jsou výrazně dominantnější než sudé.



Obrázek 39 - Vyhodnocení jednotlivých řádů harmonických napětí THDu polygonu VO

Tabulka 6 - Naměřené hodnoty jednotlivých harmonických napětí

Limity úrovně harmonického napětí dle normy ČSN EN 50160 jsou: $U_{HARM} \leq$ Hodnoty uvedené v tabulce			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	OK
Interval měření 12.4. 2021 - 19.4. 2021			
U_Harm_2 [%]	2	0,03	Ano
U_Harm_3 [%]	5	0,48	Ano
U_Harm_4 [%]	1	0,06	Ano
U_Harm_5 [%]	2	1,19	Ano
U_Harm_6 [%]	0,5	0,03	Ano
U_Harm_7 [%]	5	0,77	Ano
U_Harm_8 [%]	0,5	0,03	Ano
U_Harm_9 [%]	1,5	0,64	Ano
U_Harm_10 [%]	0,5	0,03	Ano
U_Harm_11 [%]	3,5	0,74	Ano
U_Harm_12 [%]	0,5	0,04	Ano
U_Harm_13 [%]	3	0,65	Ano
U_Harm_14 [%]	0,5	0,05	Ano
U_Harm_15 [%]	0,5	0,49	Ano
U_Harm_16 [%]	0,5	0,04	Ano
U_Harm_17 [%]	2	0,34	Ano
U_Harm_18 [%]	0,5	0,03	Ano
U_Harm_19 [%]	1,5	0,15	Ano
U_Harm_20 [%]	0,5	0,03	Ano
U_Harm_21 [%]	0,5	0,13	Ano
U_Harm_22 [%]	0,5	0,01	Ano
U_Harm_23 [%]	1,5	0,15	Ano
U_Harm_24 [%]	0,5	0,01	Ano
U_Harm_25 [%]	1,5	0,08	Ano
Výsledek	VYHOVUJE		

6.1.3. Rozbor úrovně kolísání napětí

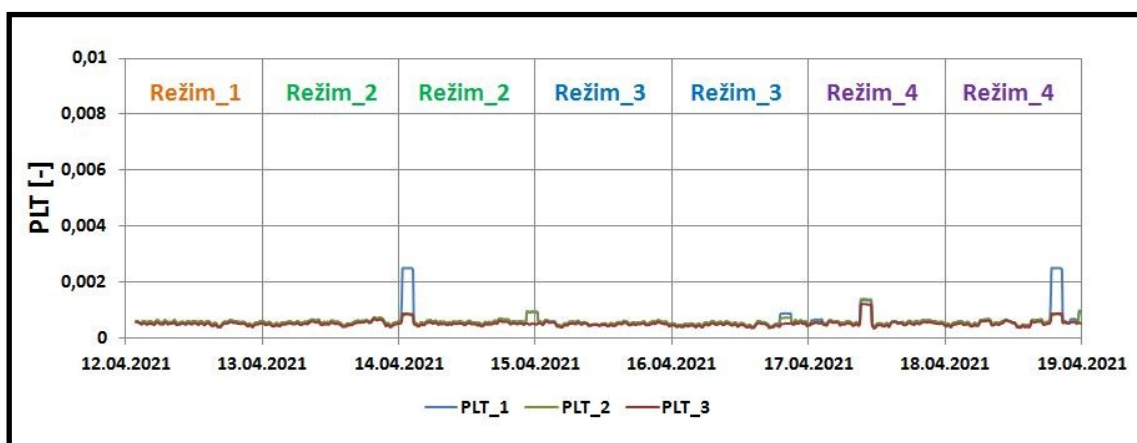
Z měření úrovně kolísání napětí během týdenního měření byly hodnoty PST konstantně velmi nízké až nulové. Hodnoty PLT byly dopočítány podle normy ČSN EN 50160. S měřením hodnoty PST a PLT je na polygonu dlouhodobý problém, protože hodnoty vycházejí příliš nízké nebo nulové, proto nejsem schopný s určitou pravděpodobností diagnostikovat zda:

- a) Měření je správné a hodnoty PST jsou vskutku téměř ideální
- b) Měření je nesprávné a hodnota PST je nízká, ale ne nulová
- c) Funkce pro měření flikru je špatná a hodnota PST je chybná

Pro výpočet PLT hodnoty se na polygonu VO využívají desetiminutové agregáty, které podle algoritmu tuto hodnotu dopočítávají. Po konzultaci by tyto agregáty měly pracovat správně.

Tabulka 7 - Naměřené hodnoty flikru

Limity úrovně flikru dle normy ČSN EN 50160 jsou: PLT ≤ 1 během 95% z T, T=1 týden PST interval 10 minut, PLT interval 2 hod			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	OK
Interval měření 12.4.2021 - 19.4.2021			
PST_1 [-]	-	0,0008	
PST_2 [-]	-	0,0009	
PST_3 [-]	-	0,0008	
PLT_1 [-]	1	0,0009	Ano
PLT_2 [-]	1	0,0008	Ano
PLT_3 [-]	1	0,0006	Ano
Výsledek	VYHOVUJE		

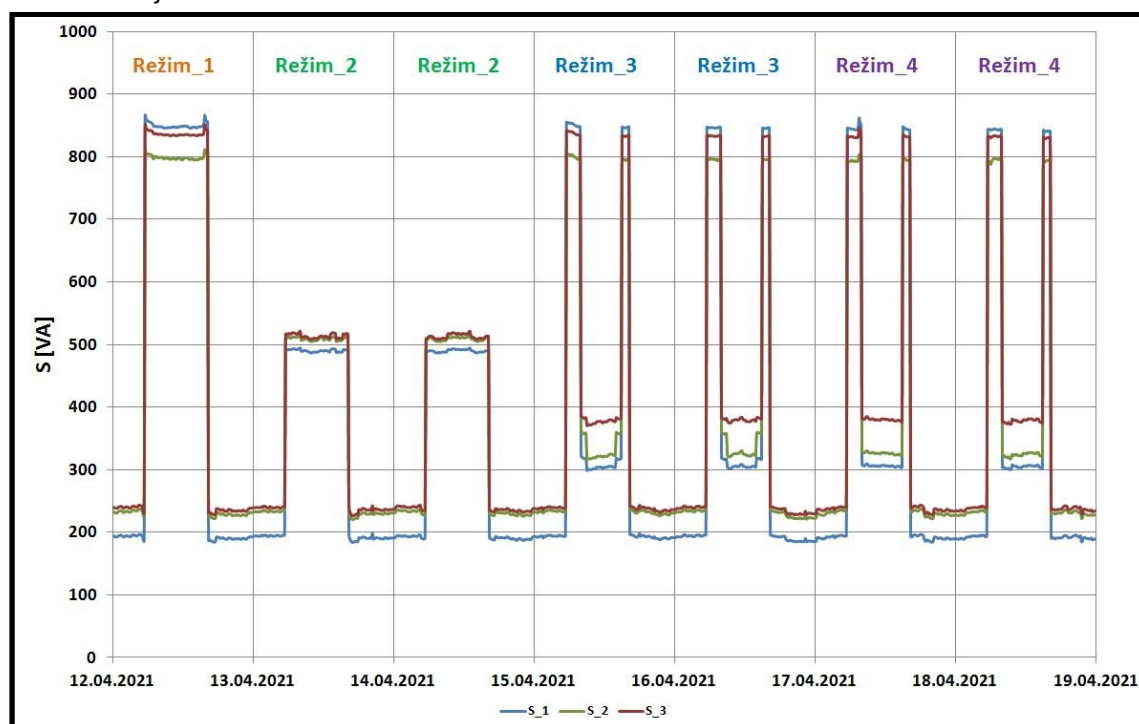


Obrázek 40 - Grafický průběh naměřených hodnot flikru polygonu VO

6.2. Porovnání provozních režimů

Provoz osvětlovací soustavy byl rozdělen do čtyř režimů. Všechny čtyři režimy spadají do režimového provozu, kdy byl jejich provozní stav předem nadefinován. Zapínání osvětlovací soustavy bylo nastaveno vždy na 19:30 večer a vypínání 6:10 ráno. Pro všechny režimy byly tyto časy zachovány. Režimy 1 a 2 byly nastaveny po dobu provozu osvětlovací soustavy na konstantní příkon svítidel. Zatímco u režimů 3 a 4 se

příkon svítidel osvětlovací soustavy v průběhu provozu měnil. Nastavení jednotlivých provozních režimů je uveden v následující tab. 8.



Obrázek 41 - Grafický průběh provozních režimů polygonu VO - zdánlivý výkon

Tabulka 8 - Provozní režimy polygonu VO

Intervaly	Výkon svítidel
Provozní režim 1	
ON - OFF	100%
Provozní režim 2	
ON - OFF	90%
Provozní režim 3	
ON - 22:00	100%
22:00 - 23:00	75%
23:00 - 4:00	50%
4:00 - 5:00	75%
5:00 - OFF	100%
Provozní režim 4	
ON - 22:00	100%
22:00 - 5:00	60%
5:00 - OFF	100%

6.2.1. Spotřeba a další parametry polygonu

Spotřeba polygonu byla zjišťována za účelem porovnání úspory elektrické energie při různých režimech. Spotřeba polygonu při plném provozu (Svítidla svítí na 100% výkon – Režim 1) byl vypočten na 25kWh. Snížením výkonů jednotlivých svítidel došlo ke snížení spotřeby téměř na polovinu oproti plnému provozu. Do celkové spotřeby je započítána i spotřeba smart prvků, které jsou součástí polygonu. Výkon všech smart technologií připojených do polygonu se pohybuje okolo 120 W.

Tabulka 9 - Spotřeba provozních režimů polygonu VO

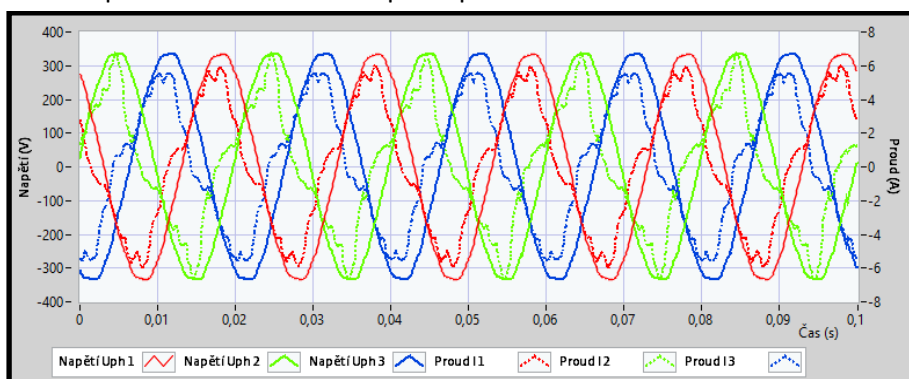
Spotřeba	Režim 1	Režim 2	Režim 3	Režim 4
P_1 [kWh]	8,86	4,67	4,41	4,38
P_2 [kWh]	8,11	4,62	4,2	4,11
P_3 [kWh]	8,46	4,51	4,5	4,5
P_cel. [kWh]	25,43	13,79	13,11	12,98

Při plném provozu je výkon svítidel osvětlovací soustavy roven 2,186 kW. Z tabulky 10 lze vidět, že u různých režimů došlo k snížení odběru proudu v jednotlivých fázích. Oproti tomu vedly tyto změny ke zvýšení harmonického zkreslení proudu a snížení True power Factoru (tPF). Každé svítidlo je řízeno PWM modulací, které upravuje hodnotu propuštěného proudu do svítidla a tím ovlivní jeho vyzářený světelný tok.

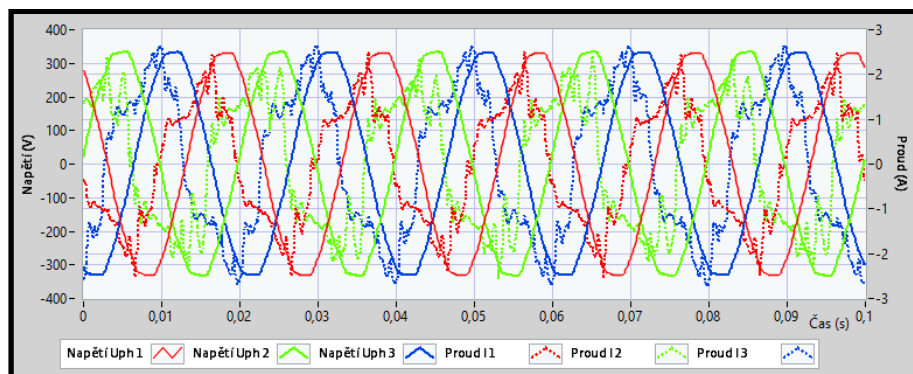
Tabulka 10 - Naměřené hodnoty odběru polygonu VO

Veličina	Režim 1	Režim 2	Režim 3	Režim 4
P_1 [W]	805,00	424,28	401,23	397,87
P_2 [W]	737,63	419,84	381,38	373,35
P_3 [W]	768,91	409,95	409,24	408,92
S_1 [VA]	849,34	490,18	499,17	496,91
S_2 [VA]	798,10	508,96	496,82	491,82
S_3 [VA]	836,11	513,44	539,60	539,95
I_1 [A]	3,59	2,09	2,12	2,12
I_2 [A]	3,46	2,26	2,16	2,14
I_3 [A]	3,54	2,19	2,30	2,31
THD_I1 [%]	39,78	39,9	36,18	23,54
THD_I2 [%]	39,90	40,77	36,99	29,91
THD_I3 [%]	30,18	30,51	26,91	25,00
tPF_1 [-]	0,93	0,84	0,70	0,69
tPF_2 [-]	0,89	0,78	0,66	0,65
tPF_3 [-]	0,90	0,78	0,67	0,67

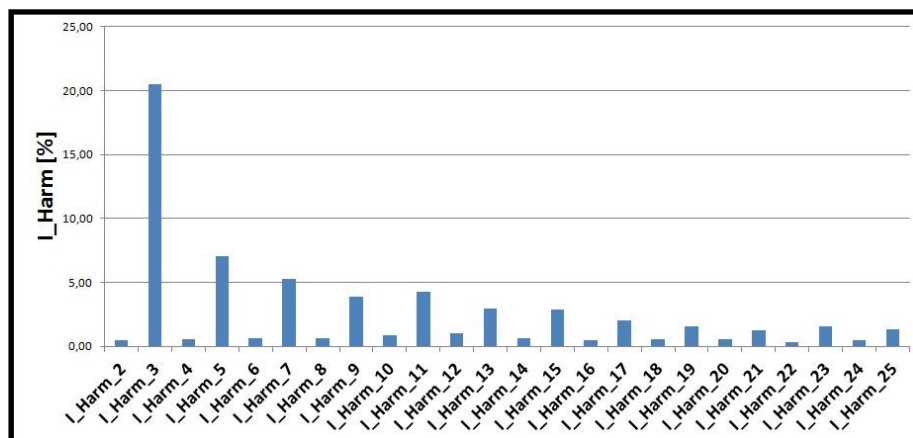
Na obrázcích 42 a 43 lze vidět průběhy proudů, které odpovídají při nastavení výkonu všech svítidel na hodnotu 100% resp. 50%. V obou případech je průběh proudu deformován. Hodnota proudu při hodnotě 50% výkonů svítidel, je velmi deformována. U obou průběhů dochází k deformacím, které jsou způsobeny zejména výskytem dominantní 3 harmonické viz obr. 44. Deformované průběhy proudů v sítích mohou mít za následek zatěžování přírodních kabelů nebo špatné působení ochran.



Obrázek 42 - Grafický průběh napětí a proudů při výkonu svítidel 100%



Obrázek 43 - Grafický průběh napětí a proudů při výkonu svítidel 50%



Obrázek 44 - Vyhodnocení jednotlivých řádů harmonických proudů THDi polygonu VO

6.3. Hodnocení dosažených výsledků

Z naměřených dat lze říci, že polygon VO odpovídá napěťovým požadavkům z pohledu Normy ČSN EN 50160. Během měření nebyly zaznamenány žádné překročení povolených limitů dané právě touto normou a nebyly zachyceny žádné napěťové jevy.

Hodnoty PST a PLT vycházely konstantně velmi malé nebo nulové. Pro potvrzení naměřených hodnot PST a vypočtených PLT by bylo dobré si toto měření ověřit dalšími analyzátoři sítí. V úvahu připadají sdružené analyzátoři typu BK-ELCOM ENA 330 nebo kompaktní C. A 8336.

V rámci měření elektrických parametrů bylo dosaženo řízením provozních režimů ke snížení spotřeby polygonu VO. Z naměřených hodnot docházelo pro jednotlivé režimy k zvýšení harmonického zkreslení proudů a snížení hodnoty True Power Factor (tPF). Hodnota tPF se při provozu svítidel na 100% pohybovala v průměru 0,91. Při 90% výkonu svítidel se tPF snížil na průměrnou hodnotu 0,8 a pro režimy nastavené s různými výkony svítidel dosahoval tPF průměrných hodnot 0,68.

Závěr

V diplomové práci byly shrnuty způsoby vyhodnocování elektrických i neelektrických parametrů osvětlovacích soustav venkovního osvětlení z pohledu normy ČSN EN 50160 a technických požadavků na jejich návrh a provoz.

V dnešní době, kdy dochází ve městech, obcích a vesnicích ve velkém k osazování nových LED svítidel, je potřeba dbát při návrhu nejen na světelné parametry osvětlení, ale také na ty elektrické. Působením špatně navržených osvětlovacích soustav může docházet ke zkrácení životnosti světelných zařízení a zařízení připojených do této sítě. Špatné parametry v síti mohou také vést k zvýšení spotřeby, vyššímu namáhání přírodních vedení, špatnému působení ochran apod.

Nedílnou součástí osvětlovacích soustav je jejich řízení a údržba. Pravidelnou údržbou a kontrolou svítidel a jejich přídatných zařízení lze dosáhnout prodloužení nejen jejich života, ale také k udržení světelně technických vlastností.

K měření světelně-technických parametrů se v praxi využívá fotometrie. Fotometrie je rozdělena na vizuální a fyzikální. Jejich podstata měření je stejná, jen se liší způsob použitého měřicího aparátu. U vizuální dochází k vyhodnocování parametrů pomocí vlastností oka a měří se na fotometrické lavici, zatímco fyzikální používá k měření fyzikální čidla, u kterých je důležité předejít jejich chybám při měření např. únavou fotočlánků nebo špatným úhlem dopadu. Dále je důležité ověřit správnost měřících přístrojů pomocí kalibrace.

Z měření a vyhodnocení dat bylo potvrzeno, že polygon VO na Vysoké škole Báňské je osazen moderními zařízeními, které svým provozem nepřispívají k zhoršení kvality sítě. Je to také díky osazení moderních předradných zařízení svítidel, které obsahují kompenzační zařízení umístěné přímo uvnitř zařízení. Proto na polygonu VO není potřeba dalších kompenzačních zařízení a při vyhodnocování žádný z naměřených elektrických parametrů nepřekročil limity dané normou. K měření elektrických parametrů sítě se v praxi využívají normou schválené analyzátory sítě např. zmíněný BK ELCOM ENA 330 a C. A 8336.

Literatura

[1] Norma ČSN EN 50160: Charakteristika napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí. 3 vydání. 2011.

[2] SANTARIUS, Pavel. *Elektromagnetická kompatibilita*. Ostrava, 2007. Skripta. VŠB - Technická univerzita Ostrava.

[3] GAVLAS, Josef, Petr KREJČÍ a Pavel SANTARIUS. *Kvalita elektrické energie - průvodce: Poruchy napětí - Část 5.1.4. Flikr* [online]. FEI Technická univerzita Ostrava, 2006 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16283151-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce-poruchy-napeti-flikr-5-1-4.html>

[4] GAVLAS, Josef, Petr KREJČÍ a Pavel SANTARIUS. *Kvalita elektrické energie - průvodce: Poruchy napětí - Část 5.2.3. Měření flikru* [online]. FEI Technická univerzita Ostrava, 2006 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1307299-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce-poruchy-naputi-5-2-3-mereni-flikru-poklesy-naputi-hungarian-copper-promotion-centre.html>

[5] FUKSA, Antonín. *Míhání a stroboskopický jev – 1. část. Světlo* [online]. 2018 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/mihani-a-stroboskopicky-jev-1-cast--2782>

[6] SOKANSKÝ, Karel a Kolektiv. *Světelná technika. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze*, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9 (váz.).

[7] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.

[8] SOKANSKÝ, Karel a kolektiv. *Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: http://www.csorsostrava.cz/publikace/Potencial_energetickych_uspor_VO_v_CR.pdf

[9] ŽÁK, Petr a Teodor TERRICH. *Ovládání veřejného osvětlení. Světlo* [online]. 2018 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/ovladani-verejneho-osvetleni--3036>

[10] *Dióda. Arduino po slovensky* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://arduinoposlovensky.sk/teoria/dioda/?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fpri>

[11] MARTINEK, Radek a kolektiv. *Design of a Measuring System for Electricity Quality Monitoring within the SMART Street Lighting Test Polygon: Pilot Study on Adaptive Current Control Strategy for Three-Phase Shunt Active Power Filters*. MDPI [online]. 2020 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/6/1718/htm>

[12] Stránky National Instrument: cDAQ-9185 [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/support/model.cdaq-9185.html>

- [13] *Stránky National Instruments: NI-9205 [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9205.html>*
- [14] *Stránky 32dev: Napěťový převodník VVC-600/300 [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <http://www.32dev.com/wp-content/uploads/2019/03/VVC-600-300.pdf>*
- [15] *Stránky 32dev: Proudový převodník CVC-25/12.5 [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <http://www.32dev.com/wp-content/uploads/2019/03/CVC-25-12.5.pdf>*
- [16] *NOVÁK, Tomáš a kolektiv. SMART POLYGON AT VSB - TU OSTRAVA 24 H/DAY USING OF PUBLIC LIGHTING NET [online]. 2019 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: doi:10.25039/x46.2019.PO172*
- [17] *BK - ELCOM: Komplexní systém monitoringu a analýzy kvality elektřiny Uživatelský manuál [online]. Verze 2.7.0. Ostrava: ELCOM, a.s. Divize Virtualní instrumentace, 2008 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: www.elcom.cz*
- [18] *C.A 8336 - Třífázový analyzátor elektrických sítí: Katalogový list C.A8336-přehledový C.A[online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/analyzatory/ca8336.html>*